

Czasopismo Naukowo-Techniczne
Wydziału Inżynierii Mechanicznej
Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy

Scientific-Technical Journal of
Mechanical Engineering Faculty of
UTP University of Science and Technology in Bydgoszcz



POSTĘPY W INŻYNIERII MECHANICZNEJ

DEVELOPMENTS
IN MECHANICAL
ENGINEERING

8(4)

2016

Wydawnictwa Uczelniane
Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego
w Bydgoszczy



ZESPÓŁ REDAKCYJNY
EDITORIAL BOARD

Przewodniczący (redaktor naczelny) – Editor-in-chief – Stanisław MROZIŃSKI

Redaktorzy Działowi – Branch editors:

<i>Eksplotacja Maszyn</i> <i>Machine Operating and Maintenance</i>	Bogdan LANDOWSKI
<i>Inżynieria Biomedyczna</i> <i>Biomedical Engineering</i>	Adam MAZURKIEWICZ
<i>Inżynieria Produkcji</i> <i>Production Engineering</i>	Marek SZCZUTKOWSKI
<i>Mechanika i Konstrukcja Maszyn</i> <i>Mechanics and Machinery Design</i>	Janusz ZACHWIEJA
<i>Maszyny i urządzenia energetyczne</i> <i>Machines and energetic devices</i>	Marcin ZASTEMPOWSKI
<i>Transport – Transport</i>	Marcin ŁUKASIEWICZ
Sekretarz Zespołu – Executive secretary	Sylwester WAWRZYŃIAK

MIĘDZYKRAJOWA RADA PROGRAMOWA
INTERNATIONAL PROGRAMME COMMITTEE

Bogdan ŻÓŁTOWSKI – **przewodniczący – chairman** (PL – UTP)

Maria ČZARNOGURSKÁ (SK)	Edmund DULCET (PL – UTP)
Jurek DUSZCZYK (NL)	Friedrich FRANEK (A)
Andrzej GOŁĄBCZAK (PL – PL)	Henryk HOLKA (PL – UTP)
Lidia ILIEVA-MITUTSOVA (BG)	Marian JANCZAREK (PL – PL)
Tomasz KICZKOWIAK (PL – PKo.)	Tomasz LIPIŃSKI (PL – UWM)
Ivan OBORSKI (UK)	Dariusz OZIMINA (PL – PŚw.)
Manfred PAHL (D)	Kazimierz PESZYŃSKI (PL – UTP)
Jindřich PETRUŠKA (CZ)	Raj B.K.N. RAO (GB)
Marian SZCZEREK (PL – ITE PIB)	Vasily S. SHEVCHENKO (BL)
	Zdeněk TRÁVNÍČEK (CZ)

Opracowanie redakcyjne i techniczne – mgr Michał Górecki, mgr Patrycja Fereni-Morzyńska

Projekt okładki – mgr inż. Daniel Morzyński

© Copyright

Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, Bydgoszcz 2016

Utwór w całości ani we fragmentach nie może być powielany ani rozpowszechniany za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych bez pisemnej zgody posiadacza praw autorskich.

Praca powstała przy wsparciu projektu „Realizacja II etapu regionalnego Centrum Innowacyjności” współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Kujawsko-Pomorskiego na lata 2007-2013

ISSN 2300-3383

Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego

Redaktor Naczelny: prof. dr hab. inż. Józef Flizikowski

ul. ks. A. Kordeckiego 20, 85-225 Bydgoszcz, tel. 52 3749482, 52 3749426

e-mail: wydawucz@utp.edu.pl <http://www.wu.utp.edu.pl>

Wyd. I. Nakład 50 egz. Ark. aut. 6. Ark. druk. 6,5.

Zakład Małej Poligrafii UTP Bydgoszcz, ul. ks. A. Kordeckiego 20

SPIS TREŚCI

CONTENTS

Angela Andrzejewska	
Polimery biodegradowalne: absorpcja wody i właściwości mechaniczne	5
Biodegradable polymers: water absorption and mechanical properties	
Małgorzata Andrzejewska	
Plenery artystyczne jako praca twórcza i forma nauczania.....	13
Open air art as a form of creative work and teaching	
Aleksandra Brzezińska, Bogdan Żółtowski	
Badanie słabych ogniw obiektu złożonego	21
The research of weak links in a composite object	
Romuald Fajtanowski	
Design – decyzje i wybory	35
Design – decisions and choices	
Pavlo Kaplun, <u>Yuriy Shalapko</u>	
Effect of ion nitriding on durability of machine parts exposed to joint action of bending and fretting	45
Wpływ azotowania jonowego na trwałość części maszyn narażonych na zginanie i fretting	
Paweł Maćkowiak, Bogdan Ligaj	
Metody wyznaczania krzywych naprężenie – odkształcenie tworzyw adhezyjnych.....	53
Methods for determination of stress-strain curves for adhesives polymers materials	
Paweł Maćkowiak, Bogdan Ligaj	
Rozwiązanie konstrukcyjne maszyny do wytwarzania odlewanych próbek tworzyw adhezyjnych.....	63
Structural solution of device for manufacturing specimens of adhesives materials	
Łukasz Pejkowski, Angela Andrzejewska	
Wytrzymałość pojedynczej warstwy polilaktydu (PLA) wykonanej metodą druku 3D w warunkach monotonicznego rozciągania.....	75
Tensile monotonic strength determination of 3D printed single polylactide (PLA) layer	

Ewa Raczyńska-Mąkowska	
Nauczanie przedmiotu Kształtowanie Przestrzeni z wykorzystaniem projektowania prospołecznego	83
Tuition o Space Shaping with an use of proocial designing	
Monika Rak	
Tkanina jako pole działań na styku sztuki i projektowania.....	93
Fabric as room for action at the interface between art and design	
Lista recenzentów prac opublikowanych w numerach 7(4)/2016 oraz 8(4)/2016	99
Reviewers list publication published in issues 7(4)/2016 and 8(4)/2016	

Angela ANDRZEJEWSKA

POLIMERY BIODEGRADOWALNE: ABSORPCJA WODY I WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE

Streszczenie: Zmiana wytrzymałości mechanicznej polimerów biodegradowalnych zachodzi na skutek procesu degradacji hydrolitycznej. Prędkość degradacji zależy od rodzaju kopolimeru, ale również od właściwości higroskopijnych polimerów jednorodnych. W pracy zaprezentowano wyniki badania chłonności i wytrzymałości mechanicznej jednorodnego amorficznego polimeru biodegradowalnego oraz polimeru poddanego wygrzewaniu wstępnemu.

Słowa kluczowe: biodegradacja, badanie chłonności, wytrzymałość mechaniczna, polilaktyd, PLA

1. WPROWADZENIE

Materiały polimerowe w większości przypadków mają zdolność do absorpcji wody z otoczenia. Szczególną grupę polimerów stanowią polimery biodegradowalne, których oddziaływanie z wilgotnym środowiskiem doprowadza do ich degradacji. W przemyśle biomedycznym i farmaceutycznym polimery biodegradowalne znajdują szereg zastosowań zarówno w produkcji implantów stosowanych w kardiochirurgii [7] czy chirurgii twarzowo-szczękowej [4], jak również jako systemy uwalniania leków [2]. Z punktu widzenia zastosowań medycznych degradacja polimeru pod wpływem oddziaływań środowiska wodnego prowadzi do uzyskania podstawowych produktów przemiany materii, które wraz z moczem wydalone są z organizmu. Dlatego też poszukiwania nowych zastosowań polimerów biodegradowalnych, cieszą się znaczącym zainteresowaniem środowiska medycznego.

W ujęciu mechanicznym polimery biodegradowalne, charakteryzują się niższą wytrzymałością niż materiały metalowe. Jednakże w wielu zastosowaniach są w stanie spełnić stawiane im wymogi w zakresie wytrzymałości mechanicznej, a także biokompatybilności [5, 6]. Zastosowanie materiałów biodegradowalnych w aplikacjach medycznych wymaga poznania ich zachowania pod wpływem oddziaływania wodnego środowiska degradującego. Z tego względu prowadzi się liczne badania nad degradacją i wytrzymałością materiałów biodegradowalnych.

W [3, 8] opisano, że obniżenie właściwości mechanicznych materiałów biodegradowalnych nie zachodzi wyłącznie na skutek degradacji hydrolitycznej, ale również obserwowane jest zjawisko pękania osmotycznego. Pękanie osmo-

tyczne charakteryzuje się tym, że określone ciśnienie osmotyczne wewnątrz matrycy polimerowej, powstałe na skutek dyfuzji cząsteczek wody, może doprowadzić do zarodkowania mikropęknięć, a tym samym do zmniejszenia wytrzymałości mechanicznej.

W pracy [1] zaprezentowano wpływ absorpcji wody na zmiany wytrzymałości mechanicznej polilaktydu. W początkowej fazie badań zaobserwowano, że w ciągu siedmiu dni od umieszczenia próbek w różnych mediach degradacyjnych:

- następuje gwałtowny przyrost masy próbek,
- o ok. 20% zmniejsza się wytrzymałości na rozciąganie (σ_M),
- o ok. 40% zmniejsza się wytrzymałości na zerwanie (σ_B).

Na kolejnych etapach degradacji dochodzi do stabilizacji wyżej wymienionych parametrów, dlatego też zauważa się konieczność dodatkowego określenia chłonności badanego polimeru w początkowej fazie degradacji.

Celem badań jest oznaczenie chłonności polimeru poprzez wyznaczenie czasu nasycenia próbki medium degradującym, a także określenie wpływu na zmiany jego wytrzymałości mechanicznej.

Zakres prac badawczych obejmuje wyznaczenie absorpcji medium degradującego w trakcie siedmiodniowej degradacji oraz zmian wytrzymałości mechanicznej pod wpływem oddziaływania środowiska degradującego.

2. MATERIAŁY I METODY

2.1. Próbkki do badań

W badaniu wykorzystano biopolimer Ingeo 3100 HP (NatureWorks, LLC). Badany biomateriał jest produktem o średniej lepkości, przeznaczonym do formowania wtryskowego.

W procesie formowania wtryskowego przyjęto parametry przetwórcze, pozwalające na otrzymanie materiału o strukturze amorficznej. Biopolimer wysuszono wstępnie w temperaturze 100°C przez 3 godziny. Następnie wtrysnięto próbki o geometrii odpowiadającej normie ISO 527-1:2012 (kształt 1A/1B) przy użyciu wtryskarki Engel e-victory 310/110, które wykorzystane zostały do badania wytrzymałości na statyczne rozciąganie (rys. 1).



Rys. 1. Kształtka do badań wytrzymałościowych
Fig. 1. A tensile specimen

Dla celów badania absorpcji wody, z normatywnych kształtek wycięto błoćki o wymiarach: 4 mm x 10 mm x 80 mm. Przykładową próbkę przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Geometria próbki – badania chłonności
Fig. 2. Specimen geometry – investigation of water absorption

2.2. Warunki badania chłonności

Proces badania absorpcji wody składał się z procesu wygrzewania wstępnego, suszenia wstępnego, kondycjonowania w medium degradującym oraz suszenia końcowego. Ze względu na to, iż absorpcja wody zależy od temperatury, czasu, grubości próbek, a także udziału fazy krystalicznej, otrzymane próbki podzielono na trzy grupy badawcze. Grupę G1 stanowiły próbki amorficzne, które nie zostały poddane procesowi wygrzewania wstępnego. Probki w grupach G2 i G3 poddano wygrzewaniu wstępnemu w temperaturze 85°C przez, odpowiednio 1 godzinę (grupa G2) i 2 godziny (grupa G3). Zbadano minimum 3 próbki w każdej grupie. Metodykę kondycjonowania próbek opracowano na podstawie normy ISO 62:2008. W odniesieniu do metodyki zawartej w przytoczonej normie, dokonano modyfikacji parametrów badania związanych z geometrią próbek. Przyjęte warunki badań oraz zalecane w normie zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Warunki kondycjonowania próbek
Table 1. Test conditions

Przyjęty parametr	Norma ISO 62:2008	Metodyka badawcza
Geometria próbek – grubość	$1 \pm 0,1 \text{ mm}$	$4 \pm 0,2 \text{ mm}$
Geometria próbek – długość	$w \leq 100d$ gdzie: w – długość [mm]; d – grubość [mm]	$80 \pm 1 \text{ mm}$
Suszenie wstępne – czas	1 – 10 dni	3 dni
Suszenie wstępne – temperatura	50°C	50°C
Studzenie próbek przed kondycjonowaniem	eksykator, osuszacz (np. P_2O_5)	eksykator żel krzemionkowy
Kondycjonowanie – rodzaj roztworu	woda destylowana	woda destylowana (WTiCh UTP)
Kondycjonowanie – temperatura	23°C	37°C
Kondycjonowanie – czas	2 h, 6 h, 24 h, 48 h, 96 h, 192 h, itd. ($\pm 1 \text{ h}$)	2 h, 6 h, 24 h, 48 h, 72 h, 96 h, 120 h, 144 h, 168 h
Dokładność pomiaru zmian masy	0,1 mg	0,1 mg
Suszenie końcowe – czas	odpowiada długości suszenia wstępnego	3 dni
Suszenie końcowe – temperatura	50°C	50°C

Kondycjonowanie próbek prowadzono w pojemnikach wypełnionych wodą destylowaną – min. 300 ml wody na próbkę, w temperaturze 37°C (FD 53, BINDER GmbH). Do pomiaru zmiany masy wykorzystano wagę analityczną RADWAG ($d = 0,1 \text{ mg}$).

2.3. Warunki badania wytrzymałości mechanicznej

Badania wytrzymałości mechanicznej prowadzono na maszynie wytrzymałościowej INSTRON ElectroPuls E3000 o zakresie siły ± 3000 N. Dane niezbędne do wyznaczenia krzywej naprężenie-odkształcenie zebrano za pomocą ekstensometru statycznego zaciskowego.

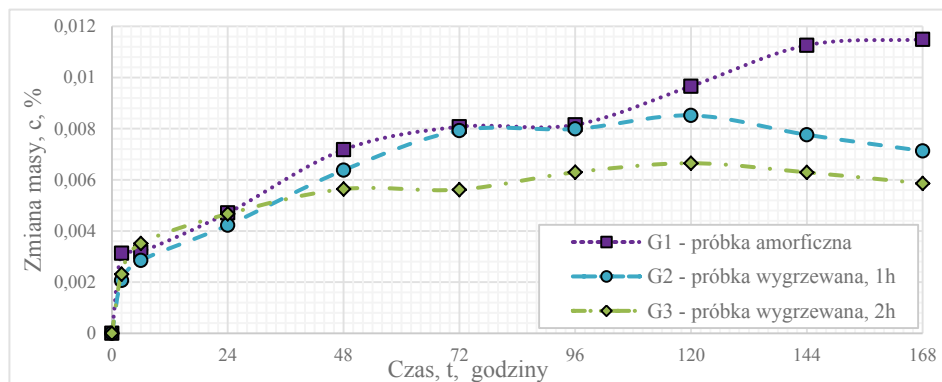
Badanie wytrzymałości mechanicznej na jednoosiowe rozciąganie prowadzono przy prędkości przemieszczenia trawersu wynoszącej 1 mm/min. Zbadano wytrzymałość materiału suchego oraz wilgotnego po 7-dniowym kondycjonowaniu w wodzie destylowanej, w temperaturze 37°C. W każdej grupie badawczej G1, G2 i G3 (opisane w punkcie 2.1) zbadano minimum 5 próbek.

3. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

3.1. Badanie chłonności

Na rysunku 3 Przedstawiono wykres zależności procentowej zmiany masy próbek w czasie 7-dniowego kondycjonowania. Wartość procentowej zmiany masy próbek dla tworzyw degradujących, wg normy ISO 62:2008, wyznacza się z zależności (1), gdzie m_1 – masa próbki w miligramach, po suszeniu wstępnym, przed kondycjonowaniem; m_2 – masa próbki (mg), po kondycjonowaniu w czasie t ; m_3 – masa próbki (mg), po kondycjonowaniu i suszeniu końcowym.

$$c = \frac{m_2 - m_3}{m_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

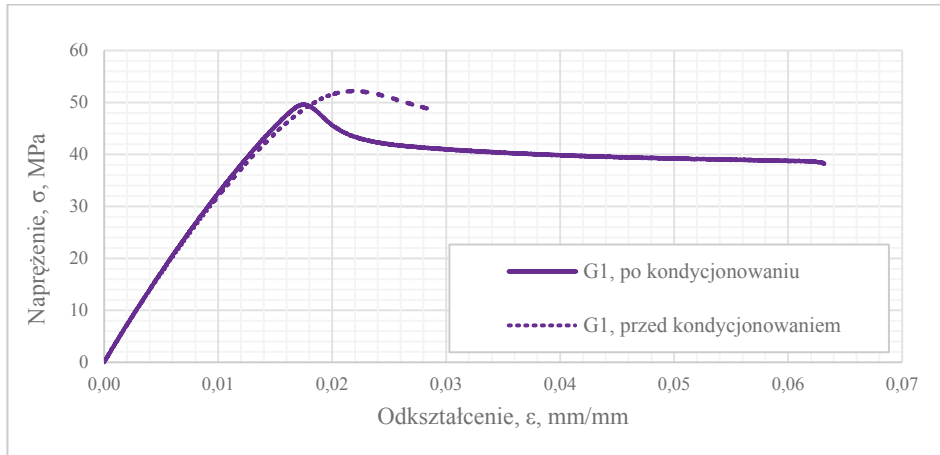


Rys. 3. Charakterystyka chłonności wody w czasie degradacji
Fig. 3. Time-dependent characteristic of water absorption

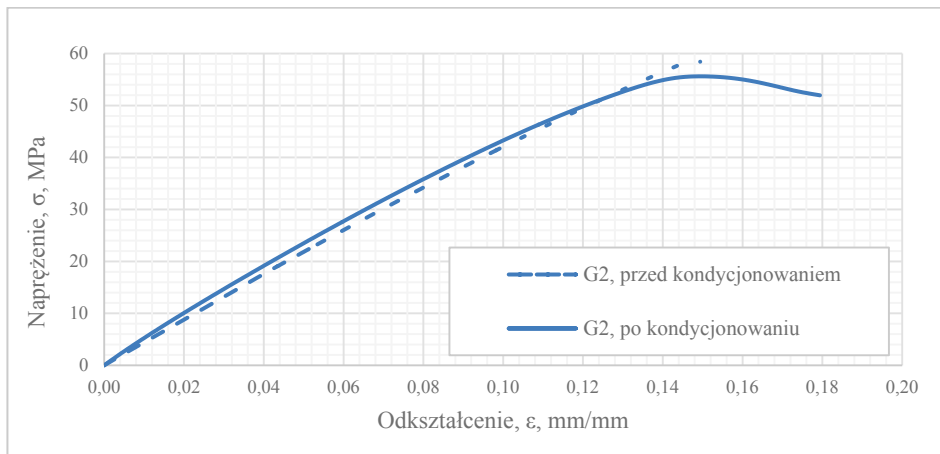
Zaobserwowano, że dla próbek amorficznych (G1) następuje większa procentowa absorpcja wody niż w przypadku próbek wyrzewanych (G2 i G3), w tym samym czasie kondycjonowania. Ponadto w przypadku próbek wyrzewanych (G2 i G3) zauważalna jest stabilizacja wartości procentowej zmiany masy po 48-72 godzin od zanurzenia, natomiast w przypadku próbek amorficznych wartość ta wzrasta, wraz z upływem czasu od rozpoczęcia badania.

3.2. Badanie wytrzymałości mechanicznej

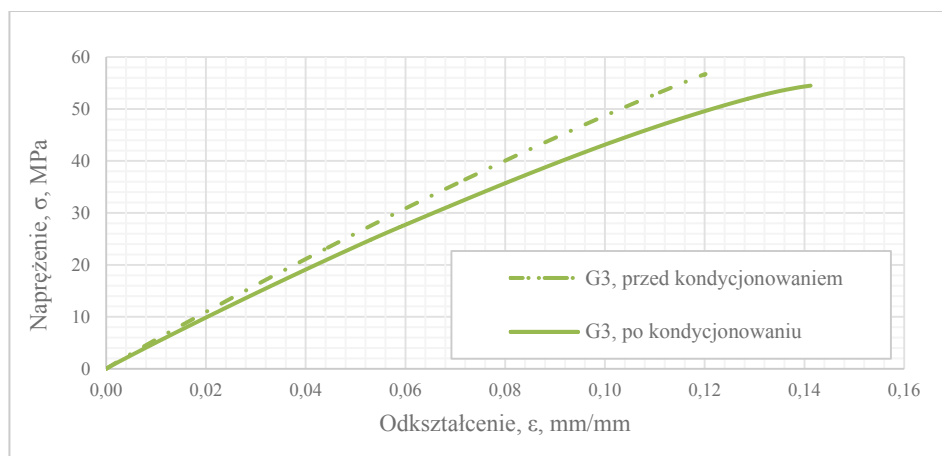
Rysunki 4-6 obrazują wykresy zależności naprężenia od odkształcenia dla przykładowo wybranych próbek przed i po siedmiodniowym kondycjonowaniu w wodzie destylowanej.



Rys. 4. Wykres zależności naprężenie-odkształcenie dla próbek przed i po kondycjonowaniu, G1
Fig. 4. Stress-strain characteristic for specimen before and after conditioning, G1



Rys. 5. Wykres zależności naprężenie-odkształcenie dla próbek przed i po kondycjonowaniu, G2
Fig. 5. Stress-strain characteristic for specimen before and after conditioning, G2



Rys. 6. Wykres zależności naprężenie-odkształcenie dla próbek przed i po kondycjonowaniu, G2
 Fig. 6. Stress-strain characteristic for specimen before and after conditioning, G2

Z przedstawionych wykresów wynika, że próbki przed kondycjonowaniem wykazują zależność naprężenia od odkształcenia σ - ϵ , odpowiadającą zależności charakteryzującej tworzywa kruche. Obraz charakterystyki w tych przypadkach nie zależy od rodzaju przyjętej grupy próbek. Jednakże dla próbek poddanych wstępnemu wygrzewaniu w temperaturze 85°C przez 1 h (G2) lub 2 h (G3) obserwuje się zwiększenie wartości wydłużenia.

Natomiast poddanie próbek kondycjonowaniu w procesie degradacji wstępnej, przyczynia się do zmiany obrazu charakterystyki, na krzywą σ - ϵ wskazującą na uplastycznianie polimeru dla próbek w grupie G1. Dla grup G2 i G3 obserwuje się nieznaczne uplastycznienie materiału, w końcowym odcinku krzywej rozciągania, jednakże nie jest ono tak wyraźne jak w przypadku próbek z grupy G1. Wartość wytrzymałości na rozciąganie dla próbek przed i po degradacji przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wytrzymałość na rozciąganie
 Table 2. Tensile strength

Rodzaj próbek	Wytrzymałość przed degradacją, σ_M , MPa	Wytrzymałość po degradacji, σ_M , MPa
Grupa G1	57	49
Grupa G2	50	40
Grupa G3	50	35

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzono badania chłonności oraz wytrzymałości mechanicznej na jednoosiowe rozciąganie polimeru biodegradowalnego, niepoddanego oraz poddanego dodatkowej obróbce cieplnej w temperaturze 85°C.

Z przedstawionych wyników badań wynika, że obecność środowiska wodnego istotnie wpływa na zmiany wytrzymałości mechanicznej badanego poli-

meru. Zmiana obrazu charakterystyki σ - ε zależy może od ilości zaabsorbowanego medium (działanie uplastyczniające), od prędkości dyfuzji medium w głąb objętości próbki oraz związanego z dyfuzją ciśnienia osmotycznego, wpływającego na zarodkowanie mikropęknięć oraz od zachodzącego procesu degradacji hydrolitycznej.

Dodatkowo zmiany zachowania polimeru w przypadku grup próbek wstępnie wygrzewanych w temperaturze 85°C przez 1-2 godzin, tj. mniejsza procentowa zawartość zaabsorbowanego medium, a także zmiana obrazu charakterystyki σ - ε , w odniesieniu do próbek niepoddanych niniejszemu procesowi. Odmienne zachowanie próbek badanego materiału w grupach G2 i G3 może wiązać się z zachodzeniem przemian fazowych, z postaci amorficznej do krystalicznej, w temperaturze powyżej temperatury zeszklenia ($T_g = 55^\circ\text{C}$). Zwiększenie stopnia krystaliczności polimeru, a tym samym uporządkowanie struktury wewnętrznej materiału zmniejsza ilość wolnych przestrzeni, do których może wnikać medium degradacyjne. Zmiana postaci polimeru z amorficznej na krystaliczną może przekładać się na zaobserwowaną w niniejszych badaniach mniejszą absorpcję medium degradującego przez wygrzewane próbki.

LITERATURA

- [1] ANDRZEJEWSKA A., ANDRYSZCZYK M., TOPOLIŃSKI T.: Effect of water absorption on the mechanical properties of biodegradable materials for medical applications. Engineering Mechanics 2016 22nd International Conference. Institute of Thermomechanics Academy of Sciences of the Czech Republic, Prague, 2016.
- [2] ASHLEY G.W., HENISE J., REID R., SANTI D.V.: Hydrogel drug delivery system with predictable and tunable drug release and degradation rates. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 110(6), 2013, 2318-23.
- [3] GAUTIER L., MORTAIGNE B., BELLENGER V., VERDU J.: Osmotic cracking nucleation in hydrothermal-aged polyester matrix. Polymer 41,2001, 2481-90.
- [4] HONG BAE JEON, DONG HEE KANG, JA HEA GU, SANG AH OH: Delayed Foreign Body Reaction Caused by Bioabsorbable Plates Used for Maxillofacial Fractures. Archives of Plastic Surgery 43(1), 2016, 40-45.
- [5] JURCZYK M., JAKUBOWICZ J.: Bionanomateriały. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2008.
- [6] LEDA H.: Materiały inżynierskie w zastosowaniach biomedycznych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2012.
- [7] LUTTER C., JONER M.: Bioresorbable drug eluting scaffolds-are bioresorbable stents ready for today's clinical practice? Journal of Thoracic Disease 8(6), 2016, 1050-1052.
- [8] SZAKONYI G., ZELKÓ R.: The effect of water on the solid state characteristics of pharmaceutical excipients: Molecular mechanisms, measurement techniques, and quality aspects of final dosage form. International Journal of Pharmaceutical Investigation 2(1), 2012, 18-25.

BIODEGRADABLE POLYMERS: WATER ABSORPTION AND MECHANICAL PROPERTIES

Summary: Mechanical strength of biodegradable polymers is changing during the hydrolytic degradation process. The degradation velocity depends on the copolymer type and hygroscopic properties of homogeneous polymers. In this paper are presented results of determination of water absorption in homogeneous polymer, and influence on its mechanical strength.

Key words: biodegradation, determination of water absorption, mechanical strength, polylactide, PLA

Małgorzata ANDRZEJEWSKA

PLENERY ARTYSTYCZNE JAKO PRACA TWÓRCZA I FORMA NAUCZANIA

Streszczenie: W pracy przedstawiono ideę pleneru. Odniesiono się do romantyzmu jako epoki kultywującej studia w naturze. Nawiązano do impresjonizmu we Francji i Polsce, przedstawiając nowe cele i możliwości twórców na przełomie XIX i XX wieku. Opisano doświadczenia pracy dydaktycznej w plenerze w ramach zajęć prowadzonych ze studentami w Zakładzie Wzornictwa.

Słowa kluczowe: plener, natura, romantyzm, impresjonizm, tworzenie

Idea plenerów artystycznych sięga odległego czasu i jest oparta na kulcie natury. Plener to słowo pochodzące z języka francuskiego, dosłownie oznacza „pełne powietrze”, ale także miejsce w otwartej przestrzeni, pod gołym niebem jako obszar i temat pracy artysty lub miejsce wypoczynku. Termin oznacza także malowanie obrazów lub wykonywanie fotografii na wolnym powietrzu – obraz tak namalowany to obraz plenerowy lub zdjęcie plenerowe. Plener to także pobyt grupy artystów w jakiejś miejscowości poświęcony pracy twórczej [1]. Ludzie od zarania dziejów przejawiali potrzebę tworzenia, począwszy od pierwszych impulsów wiodących człowieka do budowania najprostszych form z surowych materiałów. Najstarsze dzieła naszych kreatywnych przodków były pracami plenerowymi: narysowanymi, malowanymi, wyplecionymi, wyrzeźbionymi w kawałku drewna i kamienia. „Przed wiekami olbrzymia część wizualnej aktywności człowieka skoncentrowana była prawdopodobnie na jego skórze i włosach – ewentualnie wykorzystywano podlegające biodegradacji włókna i zwierzęce skóry, konstruowano formy z palnego drewna i niewypalanej gliny lub kreślono znaki na piasku. Większość z tych wytworów obróciła się w popiół i pył. Nasze spojrzenie skierowane jest więc w dużej mierze w pustkę” [2]. Przetrwały tylko nieliczne, te z twardego kruszca lub dobrze osłonięte przed wpływem niszczących działań sił przyrody i kataklizmów. Zachowały się prehistoryczne rzeźby w kamieniu i brązie, znamy malarstwo naskalne nawet sprzed 30 tys. lat (jaskinia Chauvet na południu Francji) ukryte przez długi czas na kamiennych sklepieniach w niedostępnej aż do XX wieku jaskini. Sztuka nowożytna powstawała w warsztatach, pracowniach, we wnętrzach tworzone rysunki, grafiki i malarstwo olejne, wodne, freski. Co musiało się wydarzyć, że artysta rozpoczął na nowo studia w plenerze? ... że artysta powrócił w miejsce,

które jest mu bardzo bliskie? Fascynacja potęgą natury, badanie jej tajemnych obszarów, fantastyka i wizjonerstwo to cechy romantycznego ruchu na przełomie XVIII i XIX wieku. Romantyzm w sztuce wniósł zmiany w kategoriach postrzegania świata, po raz pierwszy tak intensywnie skupił się na naturze i sprawił, że pejzaż stał się przedmiotem szczególnego zainteresowania. Pejzaż w malarstwie stał się po raz pierwszy w dziejach sztuki ważnym wizualnym medium. To właśnie w tym czasie taki artysta jak John Constable – Anglik malujący w stałym kontakcie z naturą – stworzył proste, solidne studia natury podobne do współczesnej fotografii, będące przykładem silnego zainteresowania, wręcz dokumentacyjnej, naukowej ciekawości motywu. Wprowadził do swoich studiów soczyste zielenie, rozbił kolor na cząstki, rozjaśnił paletę, świeżo i świetliście malował partie nieba. John Constable wprowadził do obrazów dzieńne światło „prawdopodobnie był pierwszym artystą, który malował w plenerze” [3]. We Francji w latach trzydziestych XIX wieku kolonia artystów stworzyła pierwszą szkołę plenerową. Malarze skupieni wokół niewielkiej wioski w Barbizon stali się odkrywcami wsi i malowali wiejską przyrodę, tak jak ją widzieli, ufając własnemu odczuciu i oku. Barbizończycy za miejsce pleneru wybrali sobie lasy w okolicy Fontainebleau, tam chętnie malowali z dala od cywilizacji, czcząc wiejską przyrodę. Duchowym przywódcą Szkoły z Barbizon był Theodore Rousseau, a współtworzyli ją malarze: Camille Corot, Jules Dupre, Constant Troyon, Charles-François Daubigny. To oni wprowadzili do malarstwa francuską wieś, proste motywy zestrojone z naturą, bezpośrednie i autentyczne.

Jednak to dopiero francuscy impresjoniści w drugiej połowie XIX wieku z malowania w plenerze uczynili metodę pracy. Jako jedni z pierwszych wychodzą programowo w plener i malują to co oferuje im dana chwila, a więc przede wszystkim obserwują barwę i światło zmieniające się w zależności od stanu aury, pory dnia czy roku. Utrwalają na płótnach poznane zjawiska dotyczące fizycznej natury światła. Malują w plenerze i nie poprawiają swoich obrazów w pracowniach. To także dzięki nowym możliwościom technicznym: są dostępne nowe, znacznie tańsze farby syntetyczne, stosuje się więcej błękitu, który do tej pory był bardzo drogi (wytwarzany z lapis lazuli). Artyści mają do dyspozycji nowe pędzle oprawione w stalową oprawę, sztalugi plenerowe i przenośne pudełka na farby i pędzle, co bardzo ułatwiało wyjście w plener [4]. Tematem obrazów staje się codzienność, ulotność chwili, nastroju oraz ludzie w różnych sytuacjach: odpoczynku, zabawy, pracy. Powstaje tysiące wizerunków ogrodów, łąk, parków, wschodów – zachodów słońca, kadry znad Sekwany, wizerunki ulic miast i przedmieść, obrazy katedr o różnych porach dnia. Artyści znajdują inspiracje w naturze i niejako „zrośnięci” z naturą kreują swój świat. Malują swoje ulubione motywy: Pierre Bonnard portrety, ogrody, akty, wnętrza; Claude Monet maluje swój ogród w Giverny, światło i kolor katedry w Rouen, Auguste Renoir znany z portretów kobiet, dzieci, aktów; Alfred Sisley – pejzaże jesienne i zimowe okolic Paryża i podparyskich miasteczek; Camille Pissarro – pejzażyści okolic i Paryża posługujący się zawsze techniką

puentylizmu. Dokonania impresjonizmu docierają do Polski. Pod gołym niebem malowali Józef Pankiewicz, Leon Wyczółkowski tworzący unikatowe wizerunki Tatr, Borów Tucholskich; Julian Fałat, Ferdynand Ruszczyc, Aleksander Gierzyński – twórca doskonałych, dociekliwych studiów dotyczących istoty światła w naturze i zwany „arystokratą pejzażu” Jan Stanisławski malarz lapidarnych, niewielkich obrazów i szkiców. To tylko nieliczni malarze pejzażyści, do tego dochodzi cała rzesza tworzących później kolorystów, jednocześnie pedagogów uczelni artystycznych. Jeszcze w XIX wieku w uczelniach polskich obowiązywały akademickie konwencje polegające na kopiowaniu starych mistrzów i malowaniu wg „monachijskich recept paletowych i sosów brunatnych” [5]. W końcu XIX wieku wprowadzone zostają w niektórych szkołach tzw. seminaria plenerowe i studenci od tego czasu rysują i malują w otwartej przestrzeni czerpiąc motywy z naturalnego otoczenia. Artysta Jan Stanisławski, profesor krakowskiej Akademii Sztuk Pięknych prowadzący katedrę pejzażu, wielokrotnie wyjeżdżał ze studentami na Ukrainę i zimowe plenery malarskie do Zakopanego. Malarz i pedagog wprowadził już wtedy obowiązkowe wyjazdy studentów na plenery, ta idea przetrwała do dziś.

W ramach pracowni rysunku studenci I roku Wzornictwa biorą udział raz w roku w jednodniowych plenerach rysunkowo-malarskich. To możliwość wzmożonej mobilizacji do pracy, ponieważ tutaj w odróżnieniu od zajęć w uczelni, studenci mogą pracować przez cały dzień w przestrzeni otwartej, pod gołym niebem. To istotna różnica, ponieważ zajęcia w pracowni odbywają się niezmiennie zawsze o tej samej porze, w ograniczonej przestrzeni i często dotyczą stałych tematów: studium martwej natury, szkice wnętrza, postaci, studium szkieletu, szkice z nauką perspektywy obiektów technicznych bądź scenograficznych dekoracji, instalacji. W plenerze zajęcia uświadamiają zmienność światła i czasu – to istotne elementy w procesie tworzenia pracy. Sceneria jest odmienna, wieloplanowa, z ostrym naturalnym światłem. Nowe miejsca zawsze działają inspirująco, pobudzają wyobraźnię i wrażliwość plastyczną. Powstają wnikliwe studia oparte na obserwacji i analizie form występujących w naturze. Studenci mogą swobodnie eksperymentować, nie ma ograniczeń miejsca i czasu. Swobodna atmosfera pleneru stymuluje do nowych zadań. Możliwość częstej konsultacji podczas dnia i wieczorne projekcje filmów o sztuce czynią wspólnie spędzony czas różnorodnym i wyjątkowym. Miejscem plenerowym studentów Wzornictwa stało się niewielkie nadmorskie miasteczko Jarosławiec w maju, krótko przed sezonem letnim. To miejsce jest szczególnie ciekawe z uwagi na bliskość portu rybackiego i okalające brzeg betonowe falochrony. Prace powstałe podczas pleneru prezentowane są we wnętrzach Zakładu Wzornictwa (rys. 1 i 2).



Fot. 1. Plener rysunkowo-malarski dla studentów I roku Wzornictwa, Jarosławiec 2016
(opracowanie własne)

Fig. 1. Plein-air drawing & painting for students I year Design, Jarosławiec 2016 (own study)



Fot. 2. Prezentacja poplenerowa prac studentów w holu UTP, Zakład Wzornictwa,
Bydgoszcz 2016 (opracowanie własne)

Fig. 2. The presentation of works by students in University, Departament of Design,
Bydgoszcz 2016 (own study)

Plenery w mieście to odmienna forma aktywności studentów skierowana nie tylko na zainteresowanie architekturą Bydgoszczy, ale także na miejsca działań w otwartej przestrzeni parku czy przedmieścia. Zabytkowa i współczesna architektura miasta stała się tematem pleneru, podczas którego studenci rysowali nie tylko w tych znanych i rozpoznawalnych częściach miasta, ale rów-

nież w miejscach zapomnianych, zaniedbanych, ukrytych za fasadą odnowionych kamienic. Powstały prace dokumentujące historyczne budynki, ciekawe detale architektoniczne i kadry po części wyimaginowanych miejsc (rys. 3 i 4).



Fot. 3. Plener w mieście – malowanie tkanin, Bydgoszcz 2015 (opracowanie własne)
Fig. 3. Plein-air in the city – painting fabrics, Bydgoszcz 2015 (own study)



Fot. 4. Plener w mieście – prezentacja prac malowanych na tkaninach, Bydgoszcz 2015 (opracowanie własne)
Fig. 4. Plein-air in the city – presentation of works painted on fabric, Bydgoszcz 2015 (own study)

Interesującym działaniem w plenerze stało się przygotowanie i realizacja projektu malowania tkanin – żagli na terenie zabytkowej Wyspy Młyńskiej w Bydgoszczy. Studenci wg własnego projektu stworzyli na płaszczyznach tkanin o wymiarach 3,5 m × 4 m × 4 m trójkątny system łączenia wzorów i kolorów połączonych z logo wydziału. Ta zespołowa praca studentów to samodzielne, odpowiedzialne i kreatywne podejście do zadania, które mogło zostać zrealizowane tylko i wyłącznie w plenerze.

Kolejna plenerowa akcja „Tworzenie mostu z wikliny” to idea autorstwa artysty Andrzeja Andrzejewskiego jako część projektu Sesisus 2015, zrealizowanego przez Stowarzyszenie Edukacji i Postępu STEP. Zamysł artystyczny to próba połączenia brzegów rzeki Wisły w pobliżu Mostu Fordońskiego symbolicznym mostem z wikliny. Na prawym i lewym brzegu rzeki artyści wraz ze studentami I i II roku Wzornictwa zbudowali konstrukcje z gałęzi wierzbowych jako działanie symbolicznego połączenia, przybliżenia i scalenia przeciwieństw. Przestrzenne instalacje z wikliny symbolizowały pojednanie z naturą, budowanie bliskości w realizacji wspólnego celu. Budowa obiektów plenerowych trwała 2 dni i zużyto około 5 ton wikliny w wiązkach długości prawie 5 m, pochodzących z upraw z okolic Bydgoszczy. Studenci uczestniczący w projekcie wykazali się dużą inwencją, wyobraźnią projektową i warsztatową. Trudne łączenie wiązek wiklinowych i osadzanie wikliny w ziemi nad brzegiem rzeki wymagało dużego zaangażowania i siły fizycznej. Praca z wikliną pozwoliła poznać tworzywo, strukturę wikliny i niejako stworzyć nową jakość na zasadzie powrotu do natury (rys. 5 i 6).



Fot. 5. Obiekt plenerowy z wikliny nad Wisłą od strony Dąbrowy Chełmińskiej, Bydgoszcz 2015
(opracowanie własne)

Fig. 5. Plein-air object of wicker on the Vistula side Dąbrowa Chełmińska, Bydgoszcz 2015
(own study)



Fot. 6. Obiekt plenerowy z wikliny przy Moście Fordońskim, Bydgoszcz 2015
(opracowanie własne)

Fig. 6. Plein-air object of wickler at the bridge Fordon, Bydgoszcz 2015 (own study)

Plenery – spotkania z naturą – mogą przybierać rozmaite formy, jednak za każdym razem stanowią dla studentów istotny materiał dla zrozumienia kształtów i struktur w naturze, niezbędnych do przyszłej pracy projektowej. Przebywanie w naturze jest twórczo uzasadnione, zawsze inspirowane do nowych działań, służy poszukiwaniom własnej tożsamości i ostatecznie staje się punktem wyjścia do rozważań nad naturą ludzką.

LITERATURA

- [1] BELL J.: *Lustro świata*. Wydawnictwo Arkady Warszawa, 2009.
- [2] DOROSZEWSKI W.: *Słownik języka polskiego*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa, 1963-1969.
- [3] KRZYSZTOWICZ-KOZAKOWSKA S.: *Sztuka Młodej Polski*. Wydawnictwo Kluszczyński, 2003.
- [4] RZEPIŃSKA M.: *Siedem wieków malarstwa europejskiego*. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wydawnictwo Wrocław, 1979.
- [5] <https://pl.wikipedia.org/wiki/Impresjonizm>.

OPEN AIR ART AS A FORM OF CREATIVE WORK AND TEACHING

Summary: The article presents the idea of plein-air. Reference was made to the Romantic era as cultivating studies in nature. The existence of Impressionism in France and Poland presents the new possibilities for artists at the turn of the XIX and XX century. Described his own experience in working outdoor with students of the Department of Design.

Key words: plein-air, nature, Romanticism, Impressionism, creation

Aleksandra BRZEZIŃSKA, Bogdan ŻÓŁTOWSKI

BADANIE SŁABYCH OGNIW OBIEKTU ZŁOŻONEGO

Streszczenie: W pracy omówiono wybrane problemy dotyczące wyszukiwania tzw. słabych ogniw w maszynach krytycznych (złożonych). Przeanalizowano stosowane metody lokalizowania elementów szczególnie podatnych na uszkodzenia. Analizę badania słabych ogniw w obiekcie złożonym dokonano na podstawie wyszukiwania wadliwych części i zespołów w elektrofiltrze, które prowadziły do awarii maszyny. Wyjaśniono zasady diagnozowania parametrów technologicznych pracy urządzenia w oparciu o stosowaną metodę kontroli stanu maszyny – według normy PN-Z-04030-7:1994, na podstawie której realizowane są późniejsze czynności naprawcze obiektu badań.

Słowa kluczowe: słabe ogniwo, obiekt złożony, niezawodność, elektrofiltr

1. WSTĘP

Nowoczesne przedsiębiorstwa doskonale rozpoznały wiele narzędzi (innowacyjny produkt, cykl życia produktu, biznes plan, benchmarking, nowoczesne technologie, transformacja wiedzy i technologii) kształtujących podstawy racjonalnej gospodarki. To określenia współczesnego etapu rozwoju gospodarki, gdzie wiedza rozumiana jako zdolność do działania, odgrywa decydującą rolę w stymulowaniu rozwoju gospodarczego i społecznego [1]. Wobec gwałtownego rozwoju informatyki, mikroelektroniki i in. nauka została uwikłana w rozwój gospodarczy do tego stopnia, że polityka naukowa zaczęła przekształcać się w politykę naukowo-techniczną i innowacyjną, a jednocześnie znacznie wzrosła rola instytucji pośredniczących pomiędzy nauką a gospodarką. Priorytetem staje się edukacja, aby nowa wiedza mogła rozpowszechniać się w społeczeństwach i stać się podstawą rozwoju społeczeństwa wiedzy i gospodarki wiedzy [4, 10].

W dzisiejszym świecie złożonych systemów technicznych coraz większego znaczenia nabiera utrzymanie ich zdolności zadaniowej w zorganizowanych strategiach eksploatacji. Znanych jest coraz więcej przypadków wymagających wysokiej niezawodności oraz pewności funkcjonowania, szczególnie maszyn krytycznych, a często pojedynczych. Projektowanie eksploatacji takich maszyn, wykorzystujące dokonania teorii modelowania (szczególnie holistycznego), dynamiki, diagnostyki technicznej, niezawodności, ryzyka bezpieczeństwa, prowadzą wprost do unikania uszkodzeń i efektywnej eksploatacji [10].

Badania niezawodności maszyn przekonują, że tańsze jest tolerowanie rozpoznanych uszkodzeń, niż zapobieganie im. Niemożliwe jest uzyskanie stuprocentowej niezawodności w każdej z dziedzin nauki i techniki tak, że tolerowanie rozwijających się uszkodzeń staje się koniecznością przy dostarczaniu usług wysokiej jakości. Nowoczesne rozwiązania technologiczne i bogate doświadczenia obszaru eksploatacji maszyn dają nową jakość umożliwiającą stosowanie nadmiarowych, zarządzanych i w pełni przewidywalnych rozwiązań dla możliwych uszkodzeń.

Gospodarka oparta na wiedzy, uwzględniająca najnowsze osiągnięcia (wytworzenie, gromadzenie, przekształcanie), transformowana do przemysłu, staje podstawą nowoczesnych technik i technologii w budowie i eksploatacji systemów technicznych. Transfer technologii omówiony wieloaspektowo – od firm technologicznych, aż po komercjalizację technologii dają przesłanki kreatywnych działań w przemyśle. Usystematyzowanie zagadnień procesów transformacji wiedzy i technologii w technice oraz wskazanie powiązań pomiędzy poszczególnymi jednostkami biorącymi w tym udział wskazują na zakres niezbędnych działań współczesnego przedsiębiorstwa [5, 9, 10].

Podczas eksploatacji obiektów technicznych należy ciągle monitorować parametry użytkowe maszyn, w celu kontrolowania bieżącego stanu technicznego. Każde wystąpienie uszkodzenia czy też awarii wiąże się z poniesieniem wysokich kosztów związanych z naprawą obiektu, dotyczy to zwłaszcza urządzeń specjalnych w przemyśle energetycznym. Ważne jest, zatem zastosowanie odpowiednich metod wyszukiwania słabych ogniw, występujących w każdym urządzeniu.

Wszystkie zawarte zagadnienia miały doprowadzić do sformułowania poprawnej odpowiedzi na cel badawczy pracy, który określono w następujący sposób: „Jakie są metody przeprowadzania czynności kontrolnych, umożliwiających określenie zdatności urządzenia specjalnego, znajdującego się w bloku energetycznym?”. Zatem w pracy zaprezentowano techniki stosowane podczas lokalizowania krytycznych elementów w obiektach, które wpływają na niezawodność maszyny. Badanie słabych ogniw w obiekcie krytycznym (złożonym) ukazano na podstawie analizy i badania sposobów wyszukiwania najbardziej zawodnych części i zespołów w elektrofiltrze.

2. OBIEKT ZŁOŻONY

Wiele definicji i określeń z obszaru teorii eksploatacji i tematyki tego opracowania zaczerpnięto z inżynierii niezawodności [7]. Pierwszym terminem, który warto przywołać dla rozważań tej pracy jest „niezawodność obiektu” definiowana jako: „zdolność maszyny do spełnienia stawianych wymagań. Wielkością charakteryzującą zdolność do spełnienia wymagań może być prawdopodobieństwo spełnienia wymagań” [5]. Formułując własnymi słowami powyższa definicja określa niezbędne wymagania oraz parametry wraz z wartościami progowymi, które opisują zdatność obiektu. Na zdatność maszyny ma wpływ także szereg czynników zewnętrznych czy też związanych z oddziaływaniem człowieka na użytkowany obiekt i ryzyko pojawienia się niekorzystnych zdarzeń (awarie, uszkodzenia) w czasie eksploatacji.

Wystąpienie uszkodzenia powoduje, że obiekt staje się niezdatny. Pojęcie rozumiane może być jako „stan maszyny, w którym nie spełnia ona chociażby jednego z wymagań określonych w dokumentacji technicznej” [9]. Wyróżniany jest również tzw. stan ograniczonej zdatności, gdzie: „pomimo tego, że pewne cechy maszyny przestały spełniać kryteria to maszyna (system techniczny, jako obiekt wielozadaniowy może realizować niektóre zadania” [12]. W Dyrektywie Maszynowej 2006/42/WE określono maszynę jako „zespół wyposażony lub przeznaczony do wyposażenia w mechanizm napędowy inny niż bezpośrednio wykorzystujący siłę mięśni ludzkich lub zwierzęcych, składający się ze sprzężonych części lub elementów, z których przynajmniej jedna wykonuje ruch, połączonych w całość mającą konkretne zastosowanie” [3].

Podstawowym terminem, który pozwoli na późniejsze prawidłowe sformułowanie definicji maszyny złożonej są obiekty proste, „realizujące jedną funkcję na argumentach wejściowych. Zwykle uszkodzenie dowolnego elementu uniemożliwia poprawną pracę całego obiektu prostego” [7]. Miara niezawodności obiektu prostego opisywana jest funkcją czasu oraz pracy systemu, przy niezależności zmiennych losowych, zapisywaną jako relacja [7]:

$$R(t, W) = R_D(W) \cdot R_N(t, W) \cdot R_K(t, W) \cdot R_A(t, W) \quad (1)$$

gdzie: $R_D(W)$ – niezawodność konstrukcyjna zależna od punktu pracy systemu (W),

$R_N(t, W)$ – niezawodność parametryczna, która zależy od czasu (t) i punktu pracy systemu (W),

$R_K(t, W)$ – niezawodność katastroficzna zależna od czasu (t) i punktu pracy systemu (W), wynikająca z występowania w czasie (t) skokowych zmian właściwości fizycznych elementów obiektu doprowadzających do uszkodzenia maszyny,

$R_A(t, W)$ – niezawodność eksploatacji oraz obsługi, która również zależy od czasu (t) i punktu pracy systemu (W).

Na podstawie tych określeń możliwe jest prawidłowe sformułowanie terminu maszyny złożonej, która składa się z wielu wzajemnie powiązanych obiektów prostych. Zatem uszkodzenie jednego bądź kilku elementów składowych maszyny nie musi wiązać się z całkowitym wyłączeniem obiektu z eksploatacji, jednak każde niepożądane zdarzenie związane z wystąpieniem awarii, uszkodzeń w określony sposób zmniejsza efektywność zastosowania urządzenia. Maszyny złożone mogą być obiektami odnawialnymi tylko w przypadku, jeżeli zaistniałe uszkodzenia elementów w obiekcie są naprawialne, a wykonywane czynności prowadzą do przywrócenia zdatności urządzenia. Naprawa słabych ogniw maszyny realizowana przez wykwalifikowany zespół z reguły nie powinna zakłócać wykonywania kluczowych zadań w przedsiębiorstwie związanych z dostarczaniem dochodów. Maszyny złożone w zależności od rangi wykonywanych zadań mogą zostać podzielone na trzy istotne klasy [7]:

- obiekty, które nie mogą być naprawiane w czasie realizacji zadania,
- obiekty, które powinny być gotowe do pracy w dowolnej chwili czasu i pracować poprawnie w określonym przedziale czasu,
- obiekty, od których wymaga się sprawnego działania w długim okresie.

Analizowany obiekt badań przedstawionych w tej pracy, to obiekt krytyczny (złożony) należący do trzeciej kategorii urządzeń przedstawionej klasyfikacji. Miarę niezawodności określającą obiekt znajdujący się w trzeciej klasie oszacować można współczynnikiem gotowości [7]:

$$R_3 = K_g \quad (2)$$

gdzie: R_3 – oznacza niezawodność obiektów technicznych należących do trzeciej klasy według podziału na zastosowanie maszyn,

K_g – wskaźnik gotowości obiektu technicznego wyrażony prawdopodobieństwem K_g , że obiekt lub jego elementy będą w stanie zdatności w chwili czasu (t) od początku eksploatacji.

Obiekt badań należy go grupy maszyn krytycznych, czyli do grupy urządzeń, które nie mają rezerwowania, a poniesiony koszt inwestycyjny na ich zakup jest stosunkowo wysoki. Ponadto eksploatacja maszyn krytycznych wpływa w znaczący sposób na uzyskanie odpowiedniego progu wyniku ekonomicznego dla danego przedsiębiorstwa.

Bardzo ważny jest fakt, iż niezawodność obiektów krytycznych zostaje wymuszona przez utrzymanie ciągłości procesu produkcyjnego. Diagnostowanie tego typu maszyn należy przeprowadzać, w celu zachowania pełnej sprawności obiektu i niedopuszczenia do występowania częstych awarii, prowadzących do wyłączenia urządzenia z procesu produkcyjnego. Należy ciągle monitorować stan techniczny maszyn krytycznych, aby zlokalizować słabe ogniwa.

Przy zastosowaniu odpowiednich metod oraz technik diagnostycznych możliwe jest prawidłowe zaplanowanie czynności naprawczych urządzenia. W dalszej części pracy zostaną omówione słabe ogniwa występujące w obiekcie złożonym, sposoby diagnostowania parametrów technologicznych obiektu badań oraz stosowane metody naprawcze maszyny analizowanej w pracy.

3. OBIEKT ZŁOŻONY

Konstruktorzy i inżynierowie tworząc nowe mechanizmy, dążą do wykonania płynnie współpracujących ze sobą elementów. Jednak wraz z efektywnym eksploataowaniem obiektu oraz związanym z użytkowaniem obiektów procesem starzenia wzrasta możliwość wystąpienia uszkodzenia. Dzieje się to ze względu na fakt, iż w urządzeniach mogą znaleźć się tzw. słabe ogniwa, które nie zostały wykryte na wcześniejszych etapach tworzenia obiektu i mogą stanowić przyczynę do powstawania późniejszych uszkodzeń czy też awarii poszczególnych elementów maszyny złożonej prowadzące nawet do zniszczenia maszyny.

Pojawienie się w obiekcie chociażby jednego uszkodzonego elementu może doprowadzić do stopniowego „pogarszania się własności pozostałych ogniw, przez co proces ten prowadzi do tworzenia się lawiny uszkodzeń” [2]. Zatem ważne jest przeprowadzanie badania niezawodnościowego już na etapie projektowania oraz na wykonanym prototypie urządzenia, aby umożliwić wykrycie wadliwych elementów wpływających na późniejszą realizację zadań przez obiekt.

Zlokalizowanie słabych ogniw w maszynach złożonych bywa kłopotliwym oraz długotrwałym procesem, dlatego tak ważne jest diagnozowanie stanu niezawodnościowego obiektu, w celu ustalenia najbardziej zawodnych elementów, części bądź zespołu wchodzących w skład maszyny złożonej przyczyniających się do możliwego pogorszenia się funkcjonowania urządzenia w czasie fazy eksploatacji obiektu.

3.1. Sposoby wyznaczania słabych ogniw w obiektach złożonych

W celu wykrycia elementów zawodnych w maszynie, które mogą negatywnie wpływać na sprawność urządzenia, wykonywane są badania niezawodności obiektów technicznych. Problematyka realizowanych czynności w dążeniu do sformułowania prawidłowej oceny określającej niezawodność maszyny dotyczy zarówno wykonania badania teoretycznego oraz eksperymentalnego. Badania teoretyczne opierają się na matematycznym modelowaniu zmian zdolności urządzenia zachodzących w określonym czasie, weryfikacji i scharakteryzowaniu rozwoju negatywnych czynników prowadzących do uszkodzeń oraz wielu innych zadań. Badania eksperymentalne dotyczą przeprowadzenia obserwacji przebiegu etapu eksploatacji oraz wchodzącego w tę fazę procesu użytkowania, przechowywania wszelkich informacji na temat wystąpienia uszkodzeń, przetwarzania danych statystycznych itp.

Prawidłowe przeprowadzenie badań niezawodnościowych obiektu technicznego zależy od sporządzenia oceny niezawodności całego urządzenia oraz poszczególnych części wchodzących w skład maszyny złożonej, wyszukania problematycznych stref wywołujących potencjalny rozwój uszkodzenia i doboru właściwych metod rozwiązujących kłopotliwe sytuacje. Celem badań jest również wykrycie tzw. słabych ogniw, czyli elementów wpływających na aktualny stan techniczny urządzenia, podatnych na przyspieszone zniszczenie przez oddziaływanie czynników roboczych, zewnętrznych oraz związanych z oddziaływaniem człowieka na maszynę.

Skupiając się na przeanalizowaniu sposobów zlokalizowania krytycznych elementów w obiekcie złożonym, typowanie słabych ogniw może być realizowane za pomocą wyznaczenia określonych kryteriów. Bardzo ważnym aspektem do przeanalizowania podczas przystępowania do określenia właściwych wskaźników słabych ogniw jest dobranie wartości progowych, które za pomocą narzędzi komputerowych umożliwią wytypowanie elementów krytycznych w urządzeniu. Podczas wyboru słabych ogniw można posłużyć się poniższymi kryteriami [7]:

- najmniejszą oceną średniego czasu zdolności między uszkodzeniami danego elementu (lub do pierwszego uszkodzenia elementu),
- najmniejszymi średnimi ilościami pracy między uszkodzeniami danego elementu (lub do pierwszego uszkodzenia elementu),
- największymi wartościami liczb uszkodzeń elementu w próbie maszyn,
- powtarzalnością uszkodzeń w próbie obserwowalnych maszyn,

- najdłuższym średnim czasie odnowy po uszkodzeniu danego elementu,
- najdłuższym łącznym czasie odnów po uszkodzeniach danego elementu.

Powinno się przyjąć zasadę, że jeżeli dla konkretnej części lub zespołu spełnione zostało chociażby jedno z powyższych kryteriów, to następuje wyznaczenie pozostałych przyjętych mierników wyboru słabych ogniw. Dla wszystkich składowych maszyny złożonej otrzymane wartości przyporządkowane są rosnąco bądź malejąco, dzięki temu możliwe jest późniejsze nadanie im rang w układzie sekwencyjnym i tworzenie listy słabych ogniw znajdujących się w urządzeniu.

Do wyznaczania krytycznych elementów (słabych ogniw) w maszynie można zastosować pracochłonne i długotrwałe badania niezawodnościowe obiektów technicznych, podczas których określone są kryteria wyboru słabych ogniw. W tym przypadku można posłużyć się wyznaczeniem średniego czasu poprawnego wykonywania pracy przez urządzenie pomiędzy dwoma uszkodzeniami, czyli zastosować wskaźnik MTBF (Mean Time Between Failure) obliczany za pomocą wzoru [6]:

$$T_s = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^n t_{ni} \quad (3)$$

gdzie: T_s – zmienna losowa określająca czas funkcjonowania (użytkowania) obiektu pomiędzy uszkodzeniami,

k – liczba obiektów badań, przy czym każdy jest po $(n-1)$ -tej naprawie,

t_{ni} – czas zdatności i -tego obiektu od momentu zakończenia $(n-1)$ -tej naprawy do chwili następnego k -tego uszkodzenia.

Przy doborze kryteriów wyznaczających słabe ogniwa skorzystać można również ze wskaźnika średniego czasu naprawy, czyli MTTR (Mean Time To Repair), który ma za zadanie określić wartość oczekiwaną G_s do usunięcia uszkodzenia. Wartość wskaźnika MTTR określana jest następująco [6]:

$$G_s = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^n g_{ni} \quad (4)$$

gdzie: G_s – to zmienna losowa określająca oczekiwany czas wykonania naprawy zaistniałych uszkodzeń,

k – liczba obiektów badań, przy czym każdy jest po $(n-1)$ -szym czasie zdatności,

g_{ni} – czas przeprowadzenia odnowy i -tego obiektu.

Wykonana naprawa maszyny powinna przywrócić cechom funkcjonalnym urządzenia własności początkowe bądź zbliżone do pierwotnych. Opisane powyżej wskaźniki stosuje się w badaniach niezawodnościowych obiektów technicznych, ponieważ umożliwiają prawidłowe zaplanowanie terminów diagnozowania maszyn i ustalenie czasu naprawy zaistniałych uszkodzeń. Podczas zlokalizowania słabych ogniw w urządzeniu przydatne może okazać się wykonanie poniższych czynności:

- weryfikacja dokumentacji techniczno-ruchowej maszyny złożonej, w celu znalezienia elementów podatnych na przyspieszone uszkodzenie,
- przestudiowanie prowadzonej statystyki uszkodzeń obiektu,
- dokonanie analizy opinii od pracowników obsługujących daną maszynę.

Wykorzystując jakąkolwiek metodę podczas wyszukiwania słabych ogniów w urządzeniu niezbędne jest posiadanie odpowiedniej wiedzy o obiekcie badań, obejmującą tematykę związaną z projektowaniem, konstruowaniem, wytwarzaniem i prawidłowym eksploataowaniem maszyny. Odczytywanie we właściwy sposób sygnałów oraz symptomów wysyłanych przez obiekt, umożliwia szybkie zareagowanie na zmieniający się stan techniczny urządzenia i dobór odpowiednich metod naprawczych. Ważne jest korzystanie z różnych sposobów podczas wyszukiwania problematycznych części, zespołów maszyny złożonej, aby zlokalizować największą liczbę słabych ogniów występujących w obiekcie badań.

Realizacja eksploatacji maszyn złożonych (obiektów krytycznych) winna zasadzać się na nadzorowaniu zmian stanów zdadności głównie **słabych ogniów**, co w praktyce realizuje się poprzez okresowe badania ich stanów zdadności metodami diagnostyki technicznej.

3.2. Metodyka wyróżniania słabych ogniów w bloku energetycznym

Podczas spalania paliw kopalnianych oprócz generowania energii, produkowane są substancje szkodliwe dla środowiska naturalnego oraz człowieka. Związki chemiczne wytwarzane w trakcie procesu spalania to: dwutlenki siarki, tlenki azotu, tlenek węgla oraz dwutlenek węgla.

Bloki energetyczne, w których spalane są paliwa stałe (dotyczy węgla kamiennego, brunatnego) muszą posiadać tzw. kompleksowy system oczyszczania spalin, składający się z urządzeń do odazotowania, odpylania oraz odsiarczania gazów odlotowych. W sterowni głównej bloku energetycznego znajduje się centrum monitorowania parametrów pracy poszczególnych urządzeń, wchodzących w skład systemu oczyszczania spalin. Centrum sterowania umożliwia szybkie reagowanie w przypadku wystąpienia awarii.

Ważny jest ciągły nadzór procesu spalania, prowadzenie ewidencji najczęstszych uszkodzeń oraz przeprowadzonych napraw w poszczególnych urządzeniach, w celu zmniejszenia ryzyka wystąpienia awarii w bloku energetycznym, niosącej niebezpieczeństwo przedostania się szkodliwych związków chemicznych do powietrza.

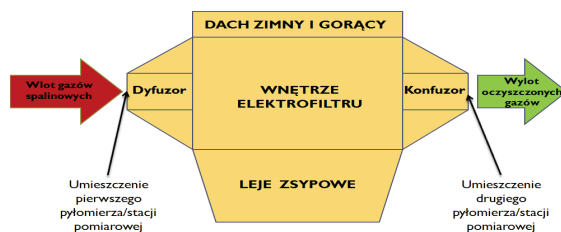
W świetle przepisów z zakresu ochrony środowiska funkcjonowanie elektrofiltru w przemyśle energetycznym stanowi kluczową rolę. Kroki podejmowane w celu uzyskiwania najniższego poziomu emisji szkodliwych związków chemicznych (tlenków siarki, tlenków azotu, pyłu) zostały zawarte w prawie ochrony środowiska [11] oraz obowiązujących standardów emisyjnych [8]. Prawidłowe funkcjonowanie elektrofiltru wpływa na sprawność działania całego bloku energetycznego składającego się z kotła, urządzeń odsiarczających, maszyn do odazotowania i odpylających drobin pyłu, komina oraz kanałów transportowych gazy odlotowe.

Wysokie koszty inwestycyjne poniesione przez przedsiębiorstwa energetyczne na zakup maszyn specjalnych, skomplikowana budowa urządzenia odpylającego oraz ranga w ochronie środowiska przed niebezpiecznymi związkami chemicznymi, pochodzącymi z procesu spalania, kwalifikuje **elektrofiltr jako obiekt krytyczny i słabe ogniwo** całego badanego systemu technicznego. Z tych trzech ważnych powodów wynika potrzeba ciągłego monitorowania parametrów technicznych i technologicznych obiektu i dokonywania ich analizy.

4. BADANIE PARAMETRÓW PROCESU TECHNOLOGICZNEGO OCZYSZCZANIA GAZÓW ODLOTOWYCH

Metoda grawimetryczna stosowana jest najczęściej w przemyśle energetycznym do kontroli stanu technicznego urządzeń specjalnych i przeprowadzania pomiarów skuteczności działania maszyn odpylających. Badanie parametrów procesu technologicznego obiektu krytycznego, jakim jest elektrofiltr kotła OO 320 w PKN ORLEN polegało na dokonywaniu czynności kontrolnych pyłu spalinowego zgodnie z normą PN-Z-04030-7:1994 „Badanie zawartości pyłu. Pomiar stężenia i strumienia masy pyłu w gazach odlotowych metodą grawimetryczną” [1]. Zgodnie z wymaganiami normy dobiera się liczbę mierzonych punktów dla każdego przekroju, a zebrane wyniki końcowe stanowią wartość średnią dla całego badanego przekroju pomiarowego.

Wartość stężenia zapylenia spalin w kanale transportującym zanieczyszczony gaz do elektrofiltru mierzony jest za pomocą urządzeń grawimetrycznych. Wykonywany zostaje pomiar temperatury gazów odlotowych na wlocie elektrofiltru oraz w kanale wylotowym oczyszczonych spalin. Ponadto dokonuje się sprawdzenia wartości stężenia poszczególnych związków chemicznych znajdujących się z gazach odlotowych, które umożliwiają późniejsze obliczenie wartości skuteczności procesu odpylania spalin ze szkodliwych związków chemicznych. Schemat rozmieszczenia pyłomierzy grawimetrycznych stosowanych podczas kontroli obiektu badań przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Rozmieszczenie pyłomierzy grawimetrycznych podczas wykonywania badania zapylenia spalin na wlocie i wylocie elektrofiltru zgodnie z normą PN-Z-04030-7:1994

Fig. 1. Arrangement gravimetric dust monitors during the dust exhaust test at the inlet and outlet of the electrostatic precipitator according to PN-Z-04030-7: 1994

4.1. Obiekt badań

Analizowanym urządzeniem w pracy jest elektrofiltr kotła OO 320 znajdujący się w PKN ORLEN w Płocku. Wykonany został w 2013 roku przez firmę budowlano-monterską TECH-MONT Engineering specjalizującą się w realizowaniu przedsięwzięć z zakresu chemii, energetyki oraz petrochemii.

Pojęciem urządzenia odpylającego zostało wyjaśnione już kilka lat temu jako: „cały zespół urządzeń koniecznych do wydzielenia pyłu z zapyłonego gazu” [4]. Wyjaśniając termin **elektrofiltr** to maszyna odpylająca, której zasada działania opiera się na oddziaływaniu pola elektrostatycznego na cząsteczki spalin.

Oznaczenie OO 320 w nazwie obiektu oznacza, że urządzenie jest opalane ciężkim olejem opałowym w skład, którego wchodzi gudron, czyli gęsta ciecz powstała w wyniku próżniowej destylacji ropy naftowej. Numer 320 w nazwie elektrofiltru określa wydajność kotła oznaczającą ilość ton generowanej pary na godzinę. W skład maszyny wchodzi odpylacz oraz urządzenia pomocnicze, których wspólne działanie sprawia, że następuje rozdzielenie drobin pyłu z gazu spalinowego. Obiekt badań składa się z bardzo wielu elementów, a budowę urządzenia można podzielić na pięć charakterystycznych grup:

- budowlana: składa się z fundamentów, obudowy lejów zsypowych, konstrukcji wsporczej z podporami przegubowymi oraz komora,
- mechaniczna: łożyska (stałe, kierunkowe i swobodne), system elektrod zbiorczych i ulotowych, wały strzepywaczy, dyfuzor, konfuzor,
- elektryczna: transformatory wraz z okablowaniem doprowadzającym energię elektryczną do każdego urządzenia mechanicznego,
- termoizolacji: wełna mineralna montowana w komorze urządzenia oraz na dachu, w celu zachowania odpowiedniej temperatury we wnętrzu obiektu,
- orygnowania: rurociąg awaryjnego spustu oleju transformatorowego łączącego misy olejowe ze zbiornikiem znajdującym się pod elektrofiltrem.

Co roku przeprowadzane są badania kontrolne stanu technicznego urządzenia odpylającego przez specjalistyczną firmę z obszaru ochrony środowiska. Ponadto maszyna znajduje się pod stałą obserwacją specjalnie wykwalifikowanego zespołu nadzorującego pracę całego bloku energetycznego.

4.2. Diagnozowanie parametrów technologicznych

Obiekt badań został oddany do użytku w 2013 roku, maszyna odpylająca składa się z dwóch sekcji pracy. Urządzenie ma cztery komory odpylania oraz osiem niezależnie zasilanych pól. W tabeli 1 zostały przedstawione parametry urządzenia, jakie powinien spełniać podczas normalnego trybu pracy.

Tabela 1. Główne parametry obiektu badanego
Table 1. Main parametrs of the research facility

Czynna wysokość pola elektrycznego	9,7 [m]
Czynna długość pola elektrycznego	16 [m]
Nominalna prędkość przepływu gazów w elektrofiltrze	0,88 [m/s]
Maksymalna prędkość przepływu gazów w elektrofiltrze	0,98 [m/s]
Zawartość CO ₂ na wylocie z kotła	13,00%
Projektowany maksymalny spadek temperatury w elektrofiltrze	5°
Projektowany spadek ciśnienia w elektrofiltrze	Nominalny 120 [Pa]
	Maksymalny 150 [Pa]

Badanie kontrolne przeprowadzone w grudniu 2015 roku metodą grawimetryczną, wykazało spadek najważniejszych parametrów pracy urządzenia, takich jak: sprawność odpylania pyłu przez elektrofiltr, średnia temperatura gazów spalinowych na wlocie i wylocie obiektu badań oraz temperatury panującej we wnętrzu komory. Modernizacja elektrofiltru polegała głównie na wymianie

warstwy izolacji wykonanej z wełny mineralnej pokrywającej komorę oraz dach maszyny. Uszkodzeniu uległa również część warstwy blachy w kanale transportującym gazy spalinowe do obiektu.

Badanie stanu technicznego elektrofiltru przeprowadziła wyspecjalizowana firma (ENERGOPOMIAR Sp. z o.o.), która zajmuje się realizacją usług pomiarowych oraz badawczych, dotyczących procesów, układów i urządzeń energetycznych. Po wykonaniu czynności naprawczych należało ponownie przebadać poszczególne wartości kluczowych własności funkcjonalnych urządzenia. Wyniki dokonanych pomiarów według normy PN-Z-04030-7:1994 zestawiono w tabelach 2 oraz 3 (oznaczenie w tabeli 2 KL – kanał lewy, KP – kanał prawy).

Tabela 2. Temperatura gazów odlotowych w elektrofiltrze

Table 2. The temperature of exhaust gases into an electrostatic precipitator

Temperatura gazów spalinowych przed oczyszczeniem								
Wydajność kotła OO 320 [t/h]	323,1				178,2			
Nr próby	998		998		995		995	
Temperatura gazu (kanał spalinowy) [°C]	KL	KP	KL	KP	KL	KP	KL	KP
	165,3	165,9	166,8	167,5	169,0	171,6	169,4	171,1
Temperatura gazów spalinowych po odpyleniu w elektrofiltrze								
Wydajność kotła OO 320 [t/h]	323,1				178,2			
Nr próby	997		997		994		994	
Temperatura gazu (kanał spalinowy) [°C]	164,3		166,0		169,1		168,3	

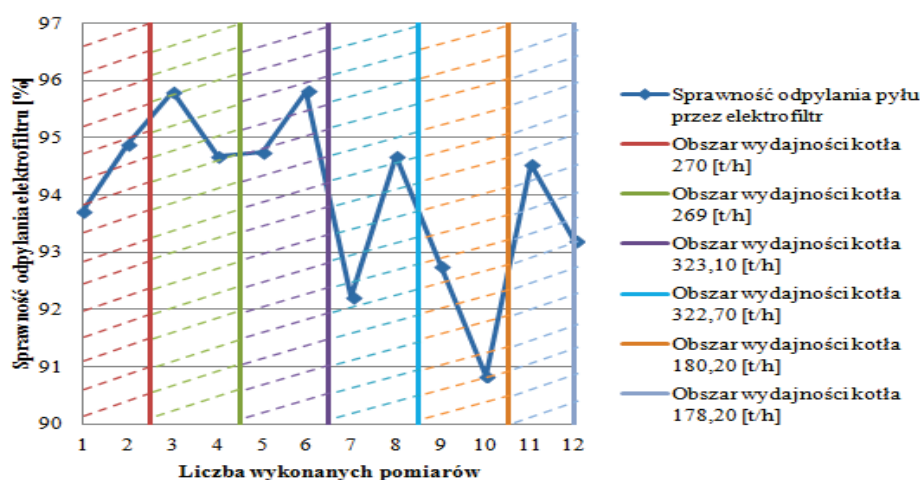
Tabela 3. Zestawienie parametrów wpływających na zmianę sprawności urządzenia

Table 3. List of parameters which are affecting to change an efficiency of the device

WYDAJNOŚĆ KOTŁA ENERGETYCZNEGO [t/h]	STĘŻENIE DROBIN ZANIECZYSZCZEŃ W SPALINACH-PYŁ + AEROZOL H ₂ SO ₄ [mg/m ³]		SPRAWNOŚĆ ODPYLANIA PYŁU PRZEZ ELEKTROFILTR [%]
	WLOT GAZÓW SPALINOWYCH	WYLOT OCZYSZCZONEGO POWIETRZA	
270,0	50,5	3,17	93,72
	52,0	2,66	94,89
269,0	45,5	1,91	95,80
	45,3	2,41	94,68
323,1	46,2	2,42	94,76
	49,5	2,07	95,82
322,7	40,0	3,11	92,23
	41,6	2,21	94,69
180,2	40,5	2,93	92,77
	38,0	3,48	90,84
178,2	36,6	2,00	94,54
	35,8	2,43	93,21

Podczas realizacji badania wykwalifikowany zespół z firmy zajmującej się ochroną środowiska wykonuje wiele pomiarów parametrów pracy elektrofiltru, które później są szczegółowo analizowane. W tabelach znajdują się już wyselekcjonowane wartości uzyskanych wyników badania umieszczane w sprawozdaniu z wykonania pomiarów kontrolnych.

Wyniki badań pozwalają na określenie sprawności elektrofiltru (rys. 2) przedstawiającej zależności sprawności elektrofiltru od zmieniających się parametrów pracy kotła energetycznego, ukazujący wpływ wartości temperatury spalin, prędkości gazów odlotowych na funkcjonowanie obiektu badań.



Rys. 2. Wykres sprawności elektrofiltru

Fig. 2 Graph of an efficiency electrostatic precipitator

4.3. Stosowane metody naprawcze

Czynności naprawcze wykonywane przez firmy budowlano-monterskie specjalizujące się w modernizacjach urządzeń specjalnych dla przemysłu chemicznego, petrochemicznego i energetycznego realizowane są na podstawie przeprowadzonych wcześniej badań kontrolnych. W zależności od występujących uszkodzeń w obiekcie metody naprawcze mogą polegać na:

- naprawie lub wymianie elementów wchodzących w skład systemu elektrod zbiorczych i ulotowych, stanowiących fundament prawidłowo wykonywanej pracy przez elektrofiltr,
- wymianie poszczególnych części bądź zespołów usuwające osadzający się pył na elektrodach zbiorczych, w celu naprawy mechanizmu strzepywania,
- zastąpieniu uszkodzonych części blach zabudowy głównej komory nowymi elementami,
- wymianie uszczelnień włazów i naprawy powłok antykorozyjnych włazów,
- wymianie warstwy izolacji termicznej znajdującej się na dachu i pokrywających komorę maszyny odpylającej,
- naprawie nieszczelności kanału transportującego gazy spalinowe do elektrofiltru.

Bez względu na to, jaki rodzaj uszkodzenia wystąpi w urządzeniu należy zawsze przeprowadzić czynności kontrolne ukazujące zniszczenie poszczególnych elementów maszyny na podstawie, których realizowane są późniejsze czynności naprawcze. Zbierane są również informacje o najbardziej krytycznych częściach, zespołach w obiekcie w celu prognozowania dalszych napraw urządzenia.

5. WNIOSKI

Zagadnienia zawarte w pracy miały umożliwić sformułowanie odpowiedzi na postawiony cel badawczy pracy: „Jakie są metody przeprowadzania czynności kontrolnych, umożliwiających określenie zdatności urządzenia specjalnego, znajdującego się w bloku energetycznym?”.

Bezpieczna, bezawaryjna i ciągła praca obiektów krytycznych są bezwzględnie wymagane wszędzie tam gdzie chodzi o wysoką niezawodność i jakość wytworów. O wyżej wymienione cechy systemów złożonych troszczyć się należy szczególnie, gdy przy ich pomocy sterujemy ważnymi projektami albo obsługujemy wielkie systemy produkcyjne. Niezawodność systemu jest potrzebna dla bezpiecznej pracy sterowanych urządzeń i nadzorowanych procesów technologicznych.

Od obiektu specjalnego, należącego do grupy odpylaczy służących do ochrony środowiska od szkodliwych związków pochodzących z procesu spalania z kotła energetycznego, wymaga się prawidłowego i niezawodnego wykonywania pracy. W świetle przepisów z zakresu ochrony środowiska funkcjonowanie elektrofiltru w przemyśle energetycznym stanowi kluczową rolę. Prawidłowa praca elektrofiltru wpływa na sprawność działania całego bloku energetycznego.

Niebezpieczne dla urządzenia są tzw. słabe ogniwa, które mogą powodować przyspieszanie się zużycia poszczególnych elementów maszyny. Tym samym generują one uszkodzenia w obiekcie, powodując przejście urządzenia w stan niezdatności. Ważne jest zatem stosowanie odpowiednich metod diagnozowania parametrów technologicznych pracy urządzeń oraz monitorowanie aktualnego stanu technicznego obiektu, aby nie dopuścić do awarii maszyny, często prowadzącej do jej likwidacji. Właściwie przeprowadzone czynności naprawcze umożliwiają przedłużenie fazy poprawnej eksploatacji urządzenia.

LITERATURA

- [1] Dokumentacja Techniczno-Ruchowa firmy TECH-MONT Engineering, Warunki Techniczne Wykonania i Odbioru, str. 6.
- [2] HAVILAND R.P.: Niezawodność urządzeń technicznych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa, 1968, 150.
- [3] http://www.testbroker.pl/pl/zakres_oznakowania_ce/dyrektywa_maszynowa.
- [4] JUDA J., NOWICKI M.: Urządzenia odpylające. Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa, 1986, 21.
- [5] MACHA E.: Niezawodność maszyn. Wydawnictwo Politechniki Opolskiej, 2001.

- [6] Praca zbiorowa pod redakcją MIGDAŁSKIEGO J.: Inżynieria Niezawodności. Wydawnictwo ATR Bydgoszcz, 1992, 354-355, 465.
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2005 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji (Dz.U. nr 260, poz. 2181).
- [8] Ustawa Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. (Dz.U. nr 62, poz. 627, z późniejszymi zmianami).
- [9] Zestawienie wyników pomiarów i obliczeń strumienia objętości, stężenia zapylenia spalin na wlocie do elektrofiltru kotła OO 320.
- [10] ŻÓŁTOWSKI M.: Informatyczne systemy zarządzania w inżynierii produkcji. Wydawnictwo ITE-PIB Radom, 2011.
- [11] ŻÓŁTOWSKI B., LANDOWSKI, B., PRZYBYLIŃSKI B.: Design of machine operation, ITE – National Research Institute, Radom, 2012.
- [12] ŻÓŁTOWSKI, B., ŁUKASIEWICZ M., KAŁACZYŃSKI T.: Information technology in the research of machine condition, Ed. UTP Bydgoszcz, 2012.

THE RESEARCH OF WEAK LINKS IN A COMPOSITE OBJECT

Abstract: In this article some problems about searching, so-called "weak links" in critical machines (complex) have been discussed. The author analyzed methods of localizing elements especially susceptible to damage. The analysis of the research of weak links in a composite object has been performed on the basis of searching defective parts and assemblies in the electrostatic precipitator. These parts could lead to a machine failure. In this thesis it has been explained how to diagnose technological parameters of normal devices operation based on applied method of machine control state, according to the standard PN-Z-04030-7:1994. On the basis of this standard, subsequent corrective actions of the device are executed.

Key words: a weak link, a composite object, the reliability, the electrostatic precipitator

POSTĘPY W INŻYNIERII MECHANICZNEJ DEVELOPMENTS IN MECHANICAL ENGINEERING

8(4)/2016, 35-44

Czasopismo naukowo-techniczne – Scientific-Technical Journal

Romuald FAJTANOWSKI

DESIGN – DECYZJE I WYBORY

Streszczenie: Praca przedstawia proces powstawania projektu fotela audytoryjnego, opracowywanego dla firmy Sella.

Słowa kluczowe: design, wzornictwo, projektowanie, fotel audytoryjny

Każdy projektant ma z reguły swoją ulubioną „strefę działania”. „Strefę”, w której pracuje najchętniej i osiągnął już sukcesy oraz zebrał już spore doświadczenie. Dla jednych będzie to elektronika, dla innych motoryzacja, a dla jeszcze innych np. meble. Dzięki tej „specjalizacji”, można lepiej korzystać ze swojej wiedzy oraz szybciej i sprawniej opracować przyjęty projekt. Designer, który pierwszy raz opracowuje daną rzecz musi poświęcić więcej czasu na analizę danego zagadnienia, na poznanie specyfiki produktu i rynku, na którym wyrób funkcjonuje oraz upodobań potencjalnych klientów. Wymaga to jednak więcej dociekań i analiz niż w pierwszym wariancie. Każda z tych opcji ma swoje dodatnie i ujemne strony. W pierwszej wersji, kiedy opracowuje się już kolejne zlecenie z interesującej projektanta sfery, można po kilku zrealizowanych projektach zacząć działać rutynowo i przygotowane opracowania staną się mniej odkrywcze, mało oryginalne, wręcz sztapowe. Jest to dość częsty problem, którego nie ustrzegą się nawet wybitni designerzy. Lepiej więc dla projektanta, kiedy zakres jego zainteresowań jest na tyle szeroki, a jego wiedza i doświadczenie na tyle bogate, że może on poruszać się swobodnie nie tylko w jednej dziedzinie, ale wielu sferach gospodarki, nieraz bardzo od siebie „oddalonych”, i różniących się. Dlatego nawet wielkie firmy i znani producenci mają swoje komórki projektowe i badawcze, zatrudniają wielokrotnie projektantów z zewnątrz, aby wprowadzić trochę świeżych pomysłów do swoich nowych opracowań i wdrożeń. Tak aby nowi projektanci nie czuli żadnych zahamowań. I nie byli ograniczani przez żadne stereotypy i konwenanse. Ważne jest także, aby ich projekty nie były naznaczone starymi przyzwyczajeniami i obowiązującym w danej dziedzinie stylem i trendami.

Na końcowym etapie prac, projektant często spotyka się z problemem, dotyczącym wyborów i decyzji producenta. Z przedstawionych propozycji klient wybiera wariant, który najbardziej mu odpowiada, spełnia jego oczekiwania i założenia. Kiedy te założenia są dość enigmatyczne i kiedy praktycznie są ustalane przez projektanta, decydują wtedy względy czysto estetyczne, a w konsekwencji bardzo subiektywne.

dr Romuald FAJTANOWSKI Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy,
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz,
e-mail: studiorogo@poczta.onet.pl

Często okazuje się, że ta wybrana przez autora wersja, ta z którą najbardziej się identyfikuje i utożsamia, przechodzi zupełnie niezauważona, a cała uwaga inwestora skupia się na innej wersji lub wersjach. Próby przekonania inwestora o słuszności autorskiego wyboru nie odnoszą często skutku i pozostaje już tylko pogodzenie się z tą decyzją.

Podobnym przykładem takiego dość specyficznego podejścia inwestora do nowego produktu, był pierwszy projekt fotela audytoryjnego, który przygotowywano dla firmy Sella w 2010 roku. W projekcie fotela, który miano opracować, inwestor zażyczył sobie, aby wykorzystane zostały podzespoły z istniejącego fotela biurowego typu Audyt – konkretnie oparcie, siedzisko oraz ewentualnie podłokietniki. Projekt powstał i to w kilku wersjach, ale efekt końcowy był bardzo niezadowolający. Fotel spełniał oczekiwania inwestora i mimo dobrze zachowanej funkcji, cały projekt był w swej formie bez wyrazu, a w swym charakterze zbyt podobny do wykorzystanego w nim istniejącego już fotela biurowego. Powstała kolejna mało efektowna hybryda, choć funkcjonalnie dobrze zaprojektowana i tańsza od fotela wykonanego od podstaw.

Zastosowanie w nim istniejącego siedziska i oparcia wziętych z krzesła biurowego, krzesła o zupełnie odmiennej funkcji i przeznaczeniu było po prostu błędem. Inwestor, mimo sugestii ze strony autora o bezsensowności takiego rozwiązania, zdecydował się na rozpoczęcie projektu i zastosowanie w nim gotowych już elementów. Pozorne oszczędności wygrały po raz kolejny [5].

To przykre doświadczenie i zderzenie z rzeczywistością sprawiło, że firma Sella, po dwóch latach ponownie wróciła do projektu na opracowanie kolejnego fotela audytoryjnego, ale dając już projektantowi całkowicie wolną rękę.

Jednak głównym bodźcem dla inwestora, mobilizującym go do rozpoczęcia prac nad nowym projektem, była możliwość skorzystania z udziału w voucherze badawczym, który przy współpracy Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy można było zrealizować.

Uczestnikami projektu byli: prof. dr hab. inż. **Janusz Sempruch – szef projektu** oraz dr hab. inż. **Tomasz Piątkowski** i dr inż. **Tomasz Tomaszewski**.

Możliwość ta spowodowała uruchomienie środków unijnych dla firmy Sella na opracowanie projektu od podstaw. Firma wносиła tylko minimalny wkład na uruchomienie całego przedsięwzięcia, resztę kwoty refundowano w ramach uczestnictwa w programie unijnym. Jako, że Sella nie musiała korzystać w tym wstępnym etapie z własnych środków i przeznaczać je na część projektową – projekt ten mógł w ogóle powstać.

Zaczęto więc opracowywać nowy projekt od modeli, od wykonania małych „prototypów” w skali 1:3, w których „opisywano” konstrukcyjne pomysły. Projekt fotela audytoryjnego obłożony jest wieloma ograniczeniami i obostrzeniami normatywnymi, które muszą być w nim bezwzględnie spełnione, tak by wyrób ten mógł być produkowany i montowany na widowni czy w audytorium. Ograniczenia te w powiązaniu z obowiązującymi założeniami, sprawdzano już na wstępnym etapie projektu, stąd też prace zaczęto od modeli, które weryfikowały od razu wszystkie koncepcje ich autora co do konstrukcji fotela i ich zgodności z normami europejskimi: UNI EN 12727 oraz UNI EN 1730. Powstały trzy warianty projektu, każdy odmiennie „realizujący” postawione założenia i normy. Do dalszej pracy

wybrany został wariant trzeci, który był jakby „zbiorem” i uzupełnieniem dwóch pierwszych wersji. Punktem wyjścia w każdym z tych pomysłów była forma „nogi”, która to forma była właściwie filarem i cokołem, na którym opierało się siedzenie i oparcie. Po wyborze wariantu do realizacji, rozpoczęły się prace nad dalszym uszczegóławianiem konstrukcji fotela, a dokładnie – definiowaniem sposobu opuszczania siedzenia i systemem użytkowania półki, które to detale musiały spełniać wymogi systemu „antypanic”, tj. błyskawicznie składać się podczas wstawiania użytkownika, nie blokując drogi ewakuacji w sytuacjach zagrożenia [4, 6].

W swym wstępnym projekcie, projektant zaproponował odejście od tradycyjnego „grawitacyjnego” sposobu składania siedzenia do pionu za pomocą ciężkiej metalowej sztaby, która umocowana do tylnej krawędzi siedzenia powoduje, że siedzisko pod jej ciężarem ustawia się w pionie. Jest to bardzo prosty sposób składania siedzenia. Jednak jego wielkim mankamentem jest spory ciężar, który w przypadku użycia na widowni czy w audytorium kilkuset foteli, znacznie zwiększa obciążenie stropu, a w konsekwencji nie we wszystkich salach możemy zastosować krzesła z takim typem odchylania siedzenia (rys. 1).



Rys. 1. Model imitacyjny wybranego do realizacji wariantu fotela audytoryjnego

Fig. 1. Imitative model chosen for the implementation variant seat auditorium

Zaproponowano więc system oparty na sprężynie, która po wstaniu użytkownika z fotela powodowałaby „zamknięcie” siedzenia i ustawienie go do pionu. Redukuje to znacznie ciężar krzesła, jak i jego wymiary. Pozostawało więc skonstruować i dostosować ów system do wymiarów nogi projektowanego krzesła. Należało również dopasować odpowiednią siłę sprężyny, tak by po wstaniu z niego użytkownika nie powodowało to zbyt gwałtownego zamykania się siedziska i hałasu, który może to powodować (uderzanie sklejki, z której wykonane jest siedzenie w metalową nogę krzesła). Wszystkie te działania muszą odbywać się szybko, ale na tyle, aby nie powodowały nadmiernego hałasu, który powtórzony kilkaset razy np. po zakończeniu spektaklu czy wykładu, byłby zdecydowanie zbyt duży.

Jednym z istotnych założeń producenta było to, żeby krzesła przystosowane były do montażu w salach płaskich, stopniowanych i pochyłych, w układzie jeden za drugim lub z przesunięciem. Ta ostatnia opcja z przesunięciem fotela, wymagałaby dodatkowego słupka za fotelem lub zastosowania specjalnej szyny wzdłuż wszystkich krzeseł, do których montowano by składany pulpit do pisania, tak aby pasował do kolejnego fotela przed nim.

Możliwe powinno być także zainstalowanie w nodze krzesła dodatkowych akcesoriów, takich jak: koszyki na dokumenty, haczyki na torby, gniazda internetowe, gniazda elektryczne oraz zestawy głośnomówiące.

Konstrukcja głównej kolumny krzesła wykonana została ze spawanych profili stalowych, natomiast jej osłona z formowanej na zimno blachy o grubości ok. 2 mm. Całość konstrukcji pomalowana zostanie farbą proszkową, w kolorze wybranym przez klienta z katalogu RAL.

Wymiary projektowanego krzesła powinny umożliwiać bardzo wygodne siedzenie i nie wpływać negatywnie na stan naszego kręgosłupa. Wiadomo, że krzesło nie może być ani zbyt wysokie, ani za niskie. Musi pasować swymi wymiarami praktycznie dla każdego użytkownika. Dla dziecka i dla dorosłego, dla człowieka niskiego i wysokiego, na osobę szczupłą i tę z nadwagą, a w konsekwencji siedzisko i oparcie powinny być też odpowiednio szerokie. I te wszystkie uwarunkowania, trzeba spełnić, bez jakiegokolwiek możliwości regulacji i dostosowania fotela do indywidualnych gabarytów. Fotel musiał być tak opracowany, żeby te wszystkie założenia w tym projekcie uwzględnić i rozwiązać [6].

Dodatkową trudnością było również to, że po złożeniu, zgodnie z przytoczonymi wcześniej normami, głębokość fotela nie mogła przekraczać 45 cm. Te wszystkie normatywne i ergonomiczne uwarunkowania sprawiły to, że aby dobrze spełnić założenia projektowe i by fotel był naprawdę wygodny i pasował do wielu typów sylwetek użytkujących go osób, zbudowano model funkcjonalny. Powstał prototyp, na którym sprawdzano wszystkie powyższe punkty – z regulacją i ustawianiem różnych opcji na czele.

Kolejnym ograniczeniem był punkt dotyczący stosowania podłokietników. W punkcie tym trzeba było uwzględnić trzy opcje ich stosowania. Decydującym czynnikiem, jaki będzie określał użycie bądź nie podłokietników jest wymiar sali i ilość foteli, które można by na danej powierzchni ustawić. Przy bardzo gęstym ułożeniu foteli, podłokietnik nie będzie stosowany. W salach o większym metrażu

będzie można zastosować jeden wspólny podłokietnik dla dwóch sąsiadujących ze sobą krzeseł. Trzecia i najbardziej komfortowa wersja, to stan, gdzie każdy z foteli będzie miał swój komplet podłokietników, co jednocześnie spowoduje, że na danej powierzchni ustawi się tych foteli mniej niż w pozostałych opcjach.

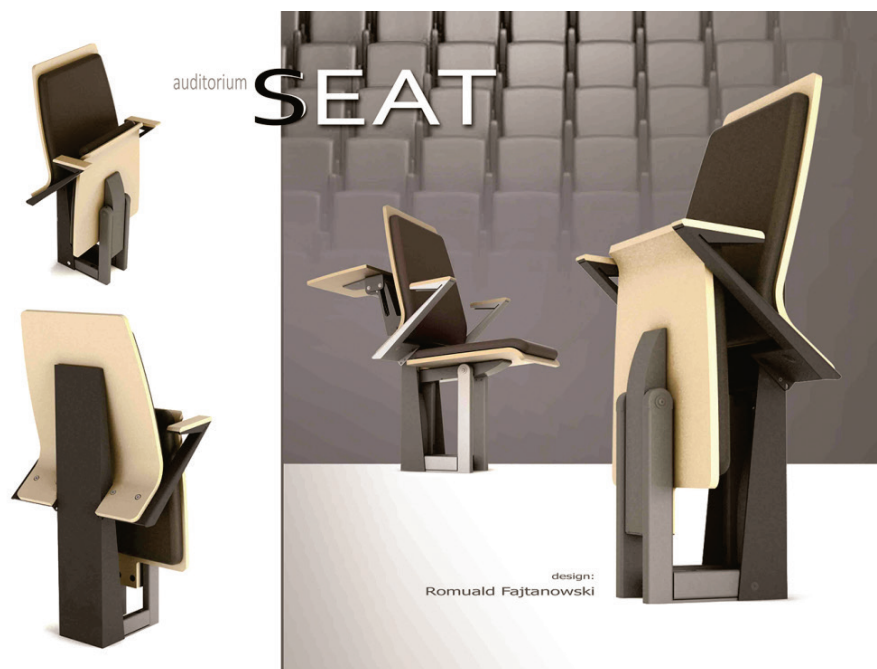
Jednak najważniejszą funkcją, którą projektantowi udało się do tego projektu „dołączyć”, mimo że w pierwotnych założeniach w ogóle jej nie było i nie była brana pod uwagę, jest możliwość ustawiania przez producenta kąta nachylenia oparcia. Koncepcja ta pozwala na produkowanie dwóch wersji fotela – wersję audytoryjną, gdzie kąt odchylenia oparcia od pionu wynosi 15 stopni, i wersję kinową, bardziej komfortową, gdzie kąt odchylenia wynosi 25 stopni. Zmiana ustawienia i funkcji jest bardzo prosta i można ją wykonać, zmieniając tylko otwory do mocowania wspomnianego już oparcia.

Bardzo istotną funkcją krzesła audytoryjnego jest zapewnienie użytkownikowi możliwości sporządzania notatek podczas wykładu czy pracy na laptopie w ergonomicznych warunkach. Większość foteli audytoryjnych z pulpitem, zaprojektowanych jest w taki sposób, że z tyłu oparcia każdego z nich, zamontowana jest składana półka-pulpit. Tym samym z pulpitu umieszczonego na naszym krześle korzystać może osoba siedząca bezpośrednio za nami. Jednak w salach, gdzie krzesła zamontowane są po łuku, taka opcja już nie wchodzi w grę. Trzeba więc posłkować się dodatkowymi słupkami lub szyną, na której montowane są mechanizmy z pulpitemi [5, 7].

W audytoriach, salach wykładowych, montowane są z reguły fotele bez tapicerki. Ze względu na sporą liczbę osób korzystających w ciągu dnia z tego typu sal, występuje konieczność utrzymania w nich porządku i czystości o najwyższym standardzie. Fotele wykonane ze sklejki są w takich sytuacjach zdecydowanie łatwiejsze i prostsze w utrzymaniu i czyszczeniu. W moim projekcie konstrukcję zewnętrzzną siedziska i oparcia stanowi sklejka bukowa o grubości 12 mm (rys. 2).

Jednakże dla uczestnika konferencji czy seminarium, szczególnie kiedy trwa ono parę godzin, o wiele bardziej komfortowym rozwiązaniem będzie krzesło tapicerowane. W przyjętym rozwiązaniu można dowolnie dobierać grubość pianki poliuretanowej w zależności od przeznaczenia sali. Cieńsze pianki stosować można w salach, gdzie uczestnicy przebywają przez krótszy czas, a grubsze, kiedy czas użytkowania krzeseł będzie dłuższy. W wersjach tapicerowanych zastosowano tkaninę o dużej wytrzymałości na ścieranie, z której można łatwo usunąć zabrudzenia. Na specjalne życzenie można zastosować również tkaninę, która nie wchłania wody.

Mając jako punkt wyjścia identyczną konstrukcję krzesła, możemy przez zastosowanie odpowiedniej tapicerki i ustawienie kąta nachylenia oparcia w bardzo prosty sposób zdefiniować funkcję krzesła. Od typowego krzesła do audytorium, po wygodny i komfortowy fotel kinowy. Tego typu „ustawienie” funkcji, bardzo konkretnie rozszerza możliwości producenta, gdyż produkując konstrukcję jednego krzesła przy zastosowaniu i wykorzystaniu tego samego parku maszynowego, może potem tę samą konstrukcję tak wykończyć, że zaspakając ona będzie przynajmniej kilka funkcji i mieć różne zastosowania [2] (rys. 3).



Rys. 2. Wizualizacja opracowanego fotela audytoryjnego – wersja bez półki
Fig. 2. Visualization developed seat auditorium – without shelf

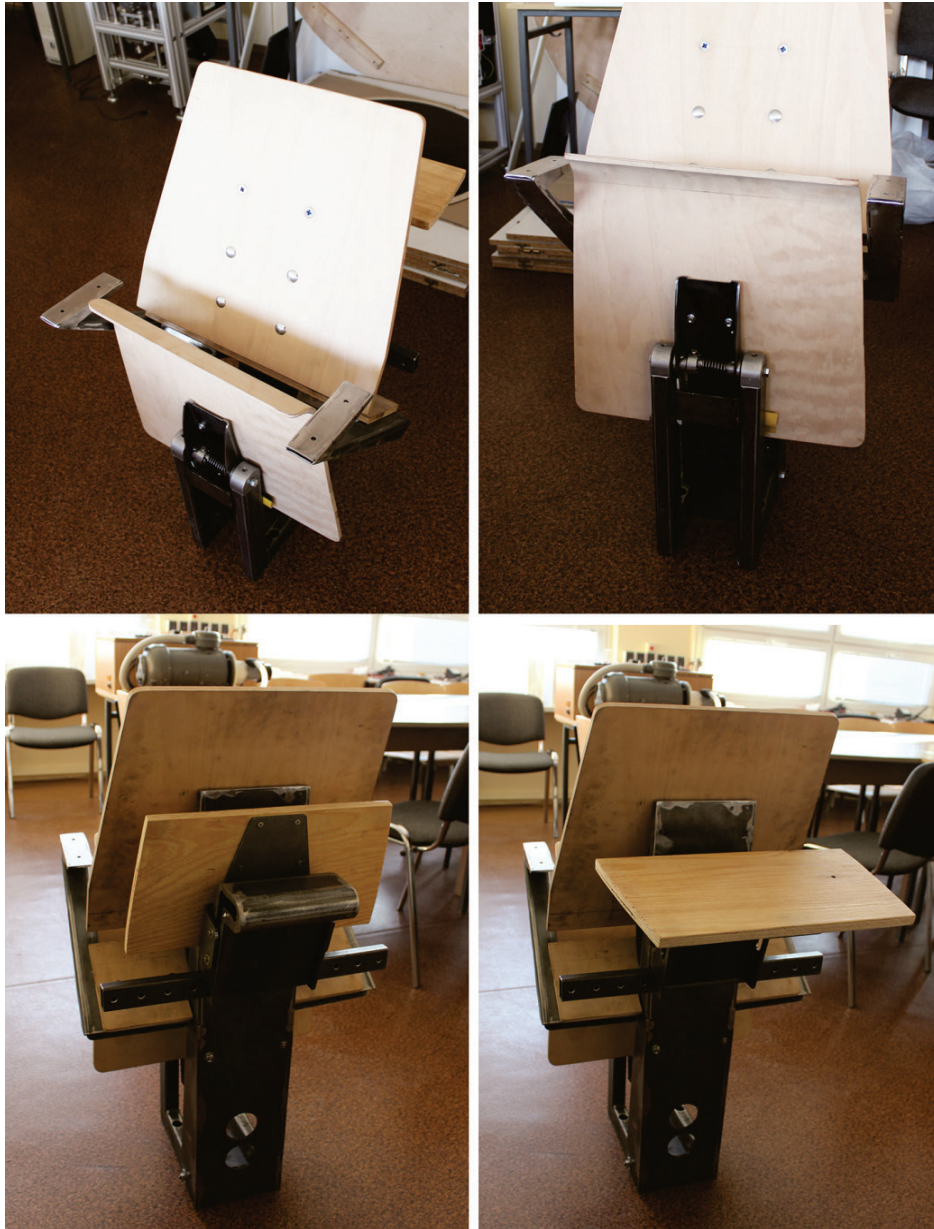


Rys. 3. Wizualizacja opracowanego fotela audytoryjnego – wersja z półką i gniazdem
Fig. 3. Visualization developed seat auditorium – version with a shelf and into an electrical outlet

Kolejnym bardzo ważnym punktem w przyjętych założeniach był ten dotyczący wytrzymałości krzesła, funkcjonującego przecież w przestrzeni publicznej. W przestrzeni, w której przewija się spora liczba osób, i w której odbywają się różnego rodzaju imprezy – od odczytów, przez spektakle i koncerty. Ta różnorodność użytkowników i działań powoduje, że krzesła takie muszą być odpowiednio starannie wykonane, a ich wytrzymałość na długotrwałe użytkowanie musi być zdecydowanie większa niż standardowego krzesła używanego w warunkach domowych. Pozostaje jeszcze sprawa odporności krzesła na wandalę i wszelkiego rodzaju sytuacje ekstremalne, które podczas imprez masowych mogą się zdarzyć. W tym przypadku powinno się przewidzieć różne sytuacje, różne możliwości uszkodzenia krzesła i tak je skonstruować, aby ta sposobność była jak najmniejsza, a wręcz niemożliwa. Będzie to jednak bardzo trudne, gdyż „inwencja” niektórych osób, przekracza w tej kwestii nawet wyobraźnię dobrego designera [1] (rys. 4).

Konstruując i wykonując prototyp stwierdzono, że przyjęto zbyt duże marginesy wytrzymałościowy na niektóre przekroje i grubości, co w efekcie sprawiło, że wykonany fotel był zdecydowanie za ciężki i trzeba go było jednak „odchudzić”, gdyż przez swoją zbyt dużą wagę, stawał się po prostu mało funkcjonalny w eksploatacji. No i oczywiście za drogi.

Wykonany prototyp pozwolił wyeliminować wiele niedoskonałości, zauważyć i wychwycić błędy, których nie przewidziano w fazie projektowej. Były to głównie kwestie w prawidłowym doborze materiałów, ich grubości i wymiarów oraz metod montażu krzesła z podłożem. Oprócz samego krzesła i jego konstrukcji, trzeba było również przetestować precyzję montażu krzesła w różnego rodzaju podłogach, instalacji w nim podzespołów elektrycznych, gniazdek i końcowego, ostatecznego już montażu. Było to kolejne ważne zadanie postawione przed twórcami przez inwestora, gdyż montaż w sali kilkuset krzesel jest bardzo czasochłonny, dlatego prześledzenie kolejności poszczególnych faz składania krzesła, jej prawidłowości i dokładności miała bardzo duże znaczenie dla wytwórcy. Nieczęsto się zdarza, że ostatnia faza montażu mebla w konkretnej przestrzeni, jest tak ważnym elementem całego procesu projektowego i wykonawczego. Montaż krzesel obok siebie, przy bardzo małej ilości dysponowanego przez montażystę miejsca nie jest prostym zadaniem, szczególnie w salach, gdzie krzesła montowane są po łuku i bardzo dokładnie trzeba wyznaczyć miejsce mocowania i przeprowadzić starannie cały proces montażu, tak by efekt końcowy był naprawdę udany.



Rys. 4. Prototyp wykonany do badań
Fig. 4. The prototype made test

Udało się w tym projekcie, te wszystkie szczegółowe uwarunkowania spełnić, uwzględniając także wszystkie założenia producenta. Powstał wyrób funkcjonalny, ciekawy stylistycznie i spełniający oczekiwania tak inwestora jak i jego klientów (rys. 5).



Rys. 5. Prototyp wykonany do badań
Fig. 5. The prototype made test

LITERATURA

- [1] BUCHANNAN C.: Wzornictwo dla zmieniającego się świata. Wiadomości IWP 9-10,74.
- [2] GEDLICZKA A.: Atlas miar człowieka. Centralny Instytut Ochrony Pracy, PIB Warszawa, 2001.
- [3] GUDIMA T.: Dyrektywy europejskie i oznaczenia CE. www.iso.pl/aktualności, 2004.
- [4] ICKIEWICZ J.: Normalizacja w technice – wykład 1 i 2.
- [5] PAWŁOWSKA A.: O projektowaniu modeli idealnych, problemy metodyki projektowania. PAN Warszawa, 1997.
- [6] PN-EN ISO 9001: 2001 Systemy jakości, model zapewnienia jakości w projektowaniu, konstruowaniu, produkcji, instalowaniu i obsłudze.
- [7] TYTYK E.: Projektowanie ergonomiczne. PWN Warszawa – Poznań, 2001.

DESIGN – DECISIONS AND CHOICES

Summary: The paper presents the process of design seat auditorium, being developed for the company Sella.

Key words: design, seat auditorium

Pavlo KAPLUN, Yurij SHALAPKO

**EFFECT OF ION NITRIDING ON DURABILITY
OF MACHINE PARTS EXPOSED TO JOINT ACTION
OF BENDING AND FRETTING**

Summary: The research was done to carry out a comparative assessment of the durability of samples made of steel 45 in the initial state without chemical heat treatment and after ion nitriding in hydrogen-free media, to determine the effect of technological modes of ion nitriding on fretting fatigue.

Tests were carried out on samples made of steel 45 subjected to ion nitriding in hydrogen-free media under different conditions. The tests were carried out on the standard machine UKI-10M designed for fatigue tests at bending.

At article present results analysis of influence of process-dependent parameters of ion nitriding in hydrogen-free media on fretting fatigue of steel 45 exposed to the joint action of bending stress and contact stress.

Ion nitriding in hydrogen-free saturating media eliminates hydrogen harmful effect on metal and significantly improves the durability of steel 45. The durability of structural elements at fretting-fatigue is seriously affected by process-dependant parameters of ion nitriding and residual compressive stress which can be optimized in terms of maximum durability.

Key words: ion nitriding, durability, bending, fretting, fatigue

1. THE RESEARCH TASKS AND URGENCY

In machinery a lot of machine parts, machineries and industrial machines operate under fretting fatigue conditions. For example, turbine blades, bearers of car wheels, semi-axes of rollers of conveyor traction elements and other structural elements in the cantilever attaching points in nodes are subjected to the joint action of bending stress and contact stress and fail by wear and fatigue. The durability of the parts made of structural low alloy steel does not always meet the usage needs. Therefore, the search for ways to enhance their durability is a topical task of engineering.

At present the methods of chemical heat treatment (nitriding, carburizing, carbonitriding and other methods) are widely used to enhance the durability of structural elements [1, 5]. These methods make it possible to enhance wear resistance and fatigue strength significantly. However, most of the techniques are carried out in hydrogenous media, which causes a decrease in strength and durability of the structural elements because of the adverse effect of hydrogen on the metal is [3, 6]. A promising technique of enhancing the durability of prod-

ucts is ion nitriding in hydrogen-free saturating media (mixtures of nitrogen and argon) [2]. The application of this technique eliminates the harmful effect of hydrogen on the metal and increases its strength characteristics.

The research was done to carry out a comparative assessment of the durability of samples made of steel 45 in the initial state without chemical heat treatment and after ion nitriding in hydrogen-free media, to determine the effect of technological modes of ion nitriding on fretting fatigue, to develop recommendations for enhancing the durability of structural steel operated under fretting and bending conditions.

2. THE RESEARCH METHODOLOGY

Tests were carried out on samples made of steel 45 subjected to ion nitriding in hydrogen-free media under different conditions (Table 1). The tests were carried out on the standard machine UKI-10M, designed for fatigue tests at cantilever bending, using a special device (Fig. 1) in which the conical part of the test sample 1 was secured in the check sample 2 with nuts No 5. Certain tightness was caused with a torque indicating wrench in the bevel connection. The check sample 2 was connected with the holder 3 which was secured in the collet attachment of the machine UKI-10M and executed rotary motion. The load device 4 caused bending stress in the sample with the maximum value at the point A and the bending stress caused microdisplacements in the bevel connection. In the process of rotating and impact of Q load the bevel connection of the sample underwent fretting fatigue. The number of load cycles to fracture of the samples was defined as a criterion for evaluating fretting fatigue. The number of cycles to fracture of the non-nitrated sample made of steel 45 was taken as the base number of cycles.

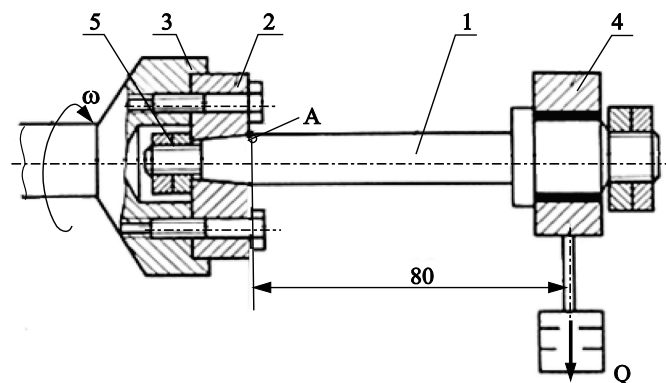


Fig. 1. Fretting fatigue test plot:

1 – sample, 2 – check sample, 3 – holder, 4 – load device, 5 – nut

The tests were carried out in the open, the rotary speed of the sample was 6000 min^{-1} , Q load was 392 N, the tightening torque of the sample nut was 25 N·m, and the maximum bending stress was 210 MPa. The sample's jumping

in the site of Q load application was 0.05...0,15 mm and was controlled by the indicator. During the tests the error was estimated according to the procedure described in the work [7] on the basis of the data of preliminary tests of the samples made of steel 45 without nitriding. The relative error in the determination of the durability of the samples did not exceed 10%. The average value of the durability of non-nitrided samples obtained by the tests carried out seven times was $1.23 \cdot 10^6$ cycles. The properties of the coatings varied at the expense of variation of process-dependent parameters of ion nitriding (the composition of saturating medium – percentage of argon in the mixture with nitrogen, pressure P, temperature T, and the duration of diffusion saturation τ). In order to reduce the number of experiments and improve the reliability of the research results the methods of experimental design (Hartley's second-order design [4]) and statistical processing of results were applied. Four-factor experiment according to Hartley's design provides 20 tests. Therefore, ion nitriding was carried out in 20 operating practices, in the process of which process-dependant parameters varied within the following bounds: T was 480...600°C, p was 80 ... 450 Pa, τ was 20 ... 240 min.; content of argon in the mixture with nitrogen was 0 ... 76 vol %.

Mathematical formulation of the process under study according to Hartley's design is expressed by a regression model as quadratic polynomial:

$$\varphi(x) = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n \beta_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

where:

$\varphi(x)$ is a response function,
 $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ are coefficients of the regression equation,
 x_i, x_j are independent variable factors.

For the four-factor experiment of the second order corresponding to our case, the regression equation takes the following form:

$$N = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \beta_{44} x_4^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{14} x_1 x_4 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{34} x_3 x_4, \quad (2)$$

where:

N is durability in cycles at fretting fatigue,
 x_1, x_2, x_3, x_4 are dimensionless coefficients dependent on processing factors of ion nitriding, i.e. on T, p, τ , and medium composition.

3. THE RESULTS OF THE RESEARCH

The test results (Table 1) show that ion nitriding makes it possible to enhance significantly fatigue resistance of the samples made of steel 45 when they are tested for fretting fatigue. The conditions of ion nitriding have a substantial effect on steel's fatigue resistance which varied from $1.6 \cdot 10^6$ to $20 \cdot 10^6$ cycles under the test conditions. Dependences of fatigue resistance on process-

dependant parameters of ion nitriding (Fig. 2) obtained by the processing of the test results are not linear and have an extreme character with explicit maxima for all parameters of the operating procedure. It suggests the possibility of optimization of fretting-fatigue process in terms of durability.

Table 1. Results of fretting-fatigue test of steel 45 according to Hartley's design

nitriding conditions No	Parameters of nitriding conditions				The number of cycles to fracture, $N \cdot 10^6$
	T, °C	P, Pa	τ , boundsmin.	vol. % Ar, in a mixture with nitrogen	
1	570	320	185	57	9.8
2	510	320	185	57	10.1
3	570	160	185	19	4.5
4	510	160	185	19	8.0
5	570	320	75	19	6.5
6	510	320	75	19	8.5
7	570	160	75	57	1.6
8	510	160	75	57	5.1
9	480	240	130	38	8.5
10	600	240	130	38	7.0
11	540	80	130	38	7.5
12	540	400	130	38	20.0
13	540	240	20	38	5.0
14	540	240	240	38	15.0
15	540	240	130	0	12.5
16	540	240	130	76	10.1
17	540	240	130	38	14.5
18	540	240	130	38	15.1
19	540	240	130	38	15.6
20	540	240	130	38	16.0
21	non-nitrided				1.23

Metallurgical and X-ray diffraction studies of samples made of steel 45 show that after ion nitriding the properties of nitrided layers varied depending on the conditions of the operating procedure and were within the following bounds: the thickness of the nitrided layer h was 50...300 mkm; the microhard-

ness of the surface H_{100} was 4000..8500 MPa; phase composition varied from the presence of all the three phases (ϵ , γ' , α) in different percentages in the nitride layers on the surface to the predominant presence of α -phase (internal nitriding zone).

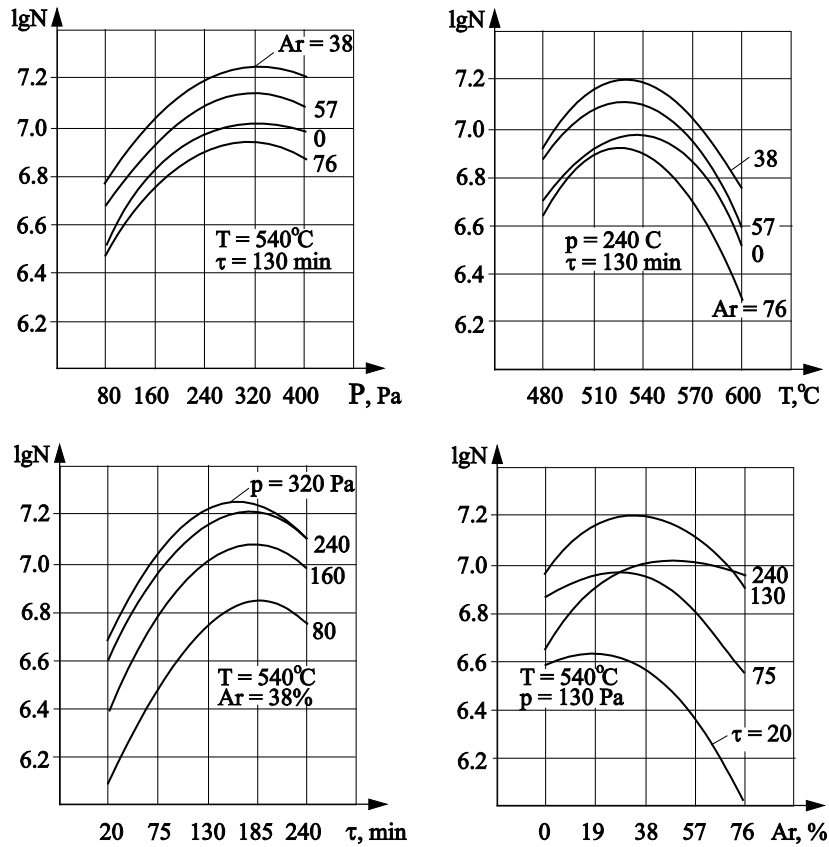


Fig. 2. The effect of ion nitriding conditions on fretting-fatigue of steel 45 (testing in the open at $\sigma_b = 210 \text{ MPa}$)

Compressive residual stress occurs in the surface layer of the samples after ion nitriding. Its rate depends on the parameters of the operating procedure and reaches 500 MPa (Fig. 3). The plots (Fig. 3) show that the maximum value of the residual stress occurs on the surface of a diffusion layer in the nitride area and its rate decreases with depth exponentially. The rate of the residual stress can be controlled within wide limits, which is very important for practice. Therefore, the maximum fatigue resistance of nitrided steel at fretting fatigue can be obtained only at the optimal value of the process-dependant parameters of ion nitriding.

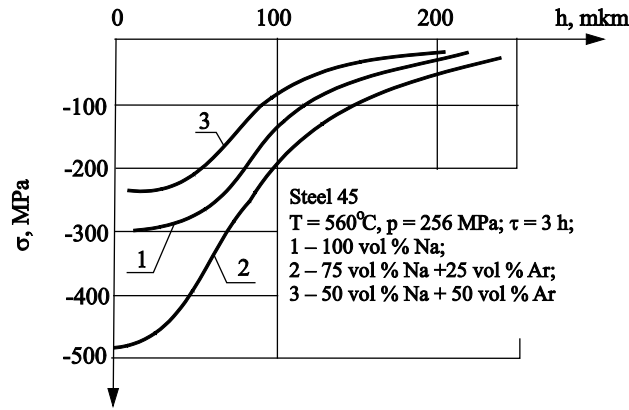


Fig. 3. Distribution of residual stress in steel 45 in the depth of the nitrated layer depending on the process conditions of nitriding

The compressive residual stress changes the tension in bending at critical sections of structural components. Total stress decreases in tensile layers and increases in compressed layers. Taking into consideration the fact that ultimate compressive strength of steel is significantly higher than ultimate tensile strength, we can state that such redistribution of stress is favourable for increasing the bearing capacity and durability of structural components, and the maximum effect is achieved at the optimum value of compressive residual stress.

Optimal compressive residual stress can be defined on the assumption of equality of ultimate tensile strength and ultimate compressive strength at a critical section in bending by the following relation:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{ut.c}(1-\chi)}{2\chi} \quad (3)$$

where:

$$\chi = \frac{\sigma_{ut.c}}{\sigma_{uc.c}} \text{ is the constant of material,}$$

$\sigma_{ut.c}$ and $\sigma_{uc.c}$ are the breaking points of coating in tension and compression.

Processing of the results of tests by Hartley's design made it possible to obtain values of the coefficients of regression (Table 2) which defines dependence of steel 45X on process-dependant parameters of ion nitriding.

Table 2. Values of the regression coefficients

β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_{11}	β_{22}	β_{33}
7.14	-0.786	1.278	1.434	-0.278	-2.466	-1.26	-2.16
β_{44}	β_{12}	β_{13}	β_{14}	β_{23}	β_{24}	β_{34}	-
-1.482	1.872	1.068	-0.451	-0.418	-0.169	1.254	-

The analysis of the regression equation makes it possible to define the optimal nitriding conditions for steel 45 which for the experimental conditions are the following: $T = 540^\circ\text{C}$; $p = 320\text{ Pa}$; $\tau = 150\text{ min.}$; the medium is 62 vol % $\text{N}_2 + 38\text{ vol\% Ar}$ (Fig. 4). Under the given nitriding conditions the thickness of the nitrided layer was $h = 250\text{ mkm}$, the surface microhardness was $H_{100} = 7150\text{ MPa}$, the maximum residual stress was 240 MPa and the phase structure of the surface layer was 20% $\epsilon + 55\% \gamma' + 25\% \alpha$. Figure 4 shows the graphs of dependence of the durability of samples made of steel 45 at fretting-fatigue on process-dependant parameters of ion nitriding under the optimal conditions of diffusion saturation.

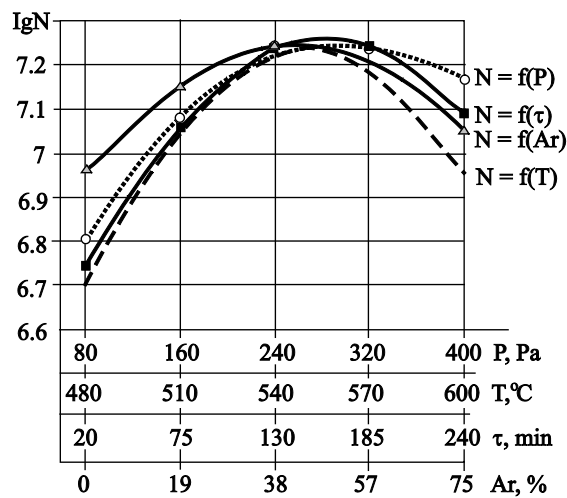


Fig. 4. Dependence of the durability of nitrided steel 45 samples tested for fretting-fatigue on process-dependant parameters of ion nitriding under the optimal conditions of diffusion saturation ($T = 540^\circ\text{C}$; $p = 320\text{ Pa}$; $\tau = 150\text{ min.}$; medium is 62 vol% $\text{N}_2 + 38\text{ vol\% Ar}$)

4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

1. Ion nitriding in hydrogen-free saturating media eliminates hydrogen harmful effect on metal and significantly improves the durability of steel 45 in the process of testing for fretting fatigue.
2. The durability of structural elements at fretting-fatigue is seriously affected by process-dependant parameters of ion nitriding and residual compressive stress which can be optimized in terms of maximum durability.
3. To enhance the durability of machine parts made of structural steel and exposed to joint effect of bending stress and contact stress at fretting it is recommended to apply ion nitriding in hydrogen-free media (mixtures of nitrogen and argon) under the optimal conditions at the optimum values of compressive residual stress.

BIBLIOGRAPHY

- [1] ARZAMSOV B.N.: Ionnaja himiko-termicheskaja splavov. Izd. MGTU im. N.Je. BAUMANA, 1999, 400.
- [2] KAPLUN V.G.: Energo i resursozberigajucha ekologichna chista tehnologija ta obladnannja dlja zmicnennja detalej mashin. Mashinoznavstvo, #2, 2002, 49-51.
- [3] KARPENKO G.V.: Vlijanie vodoroda na svojstva stali. Metallurgizdat, 1962, 198.
- [4] KRASOVSKIJ G.I.: Planirovanie eksperimenta. Minsk: Izd. BGU, 1982, 302.
- [5] LAHTIN Ju.M.: Himiko-termicheskaja obrabotka metallov. Metallurgija, 1985, 256.
- [6] Mehanika razrushenija i prochnost' metallov: Spravochnoe posobie: V 4 t. Podobshh. red. V.V. PANASJUKA. Kiev: Nauk. dumka, 1988, T.I: Osnovy mehaniki razrushenija, V.V. PANASJUK, A.A. ANDREJKOV, V.Z. PARTON, 1988, 488.
- [7] TEJLOR D.: Vvedenie v teoriju oshibok: Per. s angl., Mir, 1985, 272.

WPLYW AZOTOWANIA JONOWEGO NA TRWAŁOŚĆ CZĘŚCI MASZYN NARAŻONYCH NA ZGINANIE I FRETTING

Streszczenie: Przeprowadzono badania porównawcze trwałości próbek wykonanych ze stali 45, w stanie początkowym bez obróbki cieplno-chemicznej oraz po azotowaniu jonowym w atmosferze wolnej od wodoru, w celu określenia wpływu sposobów technologicznych azotowania jonowego na zmęczenie przez fretting. Testy przeprowadzono na standardowej maszynie UKI-10M przeznaczonej do badań zmęczeniowych ze zginaniem. W pracy przedstawiono wyniki analiz wpływu parametrów procesu azotowania jonowego na zmęczenie przez fretting próbek ze stali 45 narażonych na działanie naprężeń zginających i naprężeń kontaktowych. Azotowanie jonowe w atmosferze bezwodorowej eliminuje szkodliwy wpływ wodoru na powierzchnię metalu i znacznie poprawia trwałość stali 45.

Słowa kluczowe: azotowanie jonowe, trwałość, zmęczenie, fretting

Paweł MAĆKOWIAK, Bogdan LIGAJ

METODY WYZNACZANIA KRZYWYCH NAPRĘŻENIE – ODKSZTAŁCENIE TWORZYW ADHEZYJNYCH

Streszczenie: Do przeprowadzenia obliczeń analitycznych, jak i numerycznych połączeń klejonych niezbędna jest znajomość właściwości mechanicznych zastosowanego tworzywa adhezyjnego. Wyznaczenie wykresu naprężenie – odkształcenie dostarcza informacji o module Younga, doraźnej wytrzymałości, granicy plastyczności, maksymalnym odkształceniu, a także danych do przeprowadzenia analiz dla zakresu odkształceń plastycznych. Metody uzyskiwania powyższych danych dla tworzyw adhezyjnych, różnią się od standardowych metod stosowanych dla metali i tworzyw sztucznych. W pracy porównano różne metody wyznaczania wykresu naprężenie – odkształcenie z zaznaczeniem zalet i wad pozwalających badaczowi na wybór metody i odpowiednie zinterpretowanie otrzymanych wyników.

Słowa kluczowe: połączenia klejone, klej, właściwości mechaniczne

1. WSTĘP

Połączenia klejone są coraz częściej stosowane do łączenia elementów w budowie maszyn. Czynniki, które powodują tę tendencję są: poprawa właściwości tworzyw adhezyjnych, łatwość i mniejsza czasochłonność wykonania połączenia, konieczność łączenia elementów wykonanych z różnych materiałów. Zastosowanie połączeń klejonych w konstrukcji wymusza przeprowadzenie obliczeń ich wytrzymałości i trwałości, co stanowi wyzwanie dla konstruktorów. Spoina klejona, wykonana z materiałów o zasadniczo różnych właściwościach mechanicznych od reszty konstrukcji, wymaga często zastosowania dokładnej i skomplikowanej analizy. Ze względu na czasochłonność metod analitycznych konstruktorzy coraz częściej wspomagają się programami do analiz numerycznych. Metody te bazują na znajomości podstawowych właściwości mechanicznych tworzywa adhezyjnego, które nie są zwykle podawane przez producentów. Wyznaczenie ich wymaga zastosowania specjalnych metod i rozwiązania problemów, które nie występują podczas badań metali i tworzyw polimerowych.

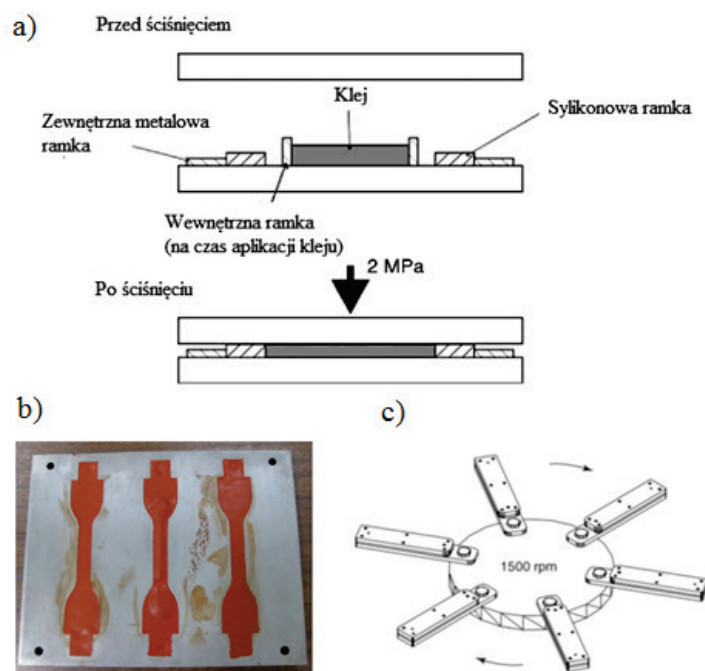
mgr inż. Paweł MAĆKOWIAK, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy,
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz,
e-mail: pawel.mackowiak@utp.edu.pl
dr hab. inż. Bogdan LIGAJ, prof. nadzw. UTP, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy,
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz,
e-mail: bogdan.ligaj@utp.edu.pl

Celem pracy jest przedstawienie metod wykorzystywanych do wyznaczania charakterystyk wytrzymałościowych tworzyw adhezyjnych (krzywych naprężenie – odkształcenie).

Zakres pracy obejmuje porównanie stosowanych metod wyznaczania modułu Younga oraz doraźnej wytrzymałości na rozciąganie tworzyw adhezyjnych.

2. PRÓBKIE ODLEWANE

Do wyznaczania krzywych naprężenie – odkształcenie materiałów adhezyjnych stosuje się najczęściej próbki odlewane. Znane są różne techniki wytwarzania odlewów tworzyw adhezyjnych: w formach silikonowych, teflonowych, metalowych pokrytych rozdzielaczem. Wytwarzanie próbek z tworzyw adhezyjnych można zrealizować dwiema metodami. Pierwsza metoda polega na odlaniu płyt z masy klejącej, następnie wycinaniu poprzez obróbkę mechaniczną docelowego kształtu (rys. 1) [2, 3].



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie metod wykonywania próbek:
 a – metoda odlewania płyty z tworzywa adhezyjnego [2],
 b – metoda odlewania gotowych próbek w formie [3],
 c – metoda odlewania próbek w „wirówce” [2]

Fig. 1. Schematic representation of the production methods of specimens:
 a – casting method of the adhesive material board [2],
 b – a method of pouring the samples fabricated in the form [3],
 c – a method of cast the samples in a centrifuge [2]

Metoda druga polega na wykonaniu odlewów tworzyw adhezyjnych w formach o określonych cechach geometrycznych [3, 5]. Pierwsza metoda jest skuteczniejsza dla tworzyw adhezyjnych o większej lepkości, natomiast druga dla materiałów o małej lepkości. Rozwinięciem drugiej metody jest zastosowanie wirówki, która dzięki ciśnieniu hydrostatycznemu w wirującej formie rozprowadza równomiernie odlewany materiał, odprowadzając zarazem pęcherze gazu [3].

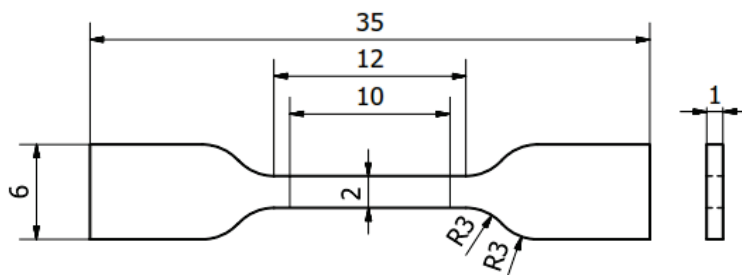
W badaniach wytrzymałościowych, mających na celu określenie istotnych parametrów fizycznych, wytwarza się próbki: gładkie walcowe odlewane np. w polietylenowych strzykawkach [4], płyty [1], a także próbki z pomniejszonym przekrojem części pomiarowej typu wiosełko [5, 6]. Próbki odlewane podaje się próbie rozciągania i ściskania.

2.1. Próbki odlewane poddawane próbie ściskania

Odlewane próbki można poddać próbie ściskania celem wyznaczenia krzywych naprężenie – odkształcenie i modułu sprężystości podłużnej (moduł Younga). Zaletą tej metody jest uzyskanie większego poziomu odkształceń w próbce w stosunku do poziomu odkształceń uzyskanych podczas próby rozciągania. Przeprowadzenie badań dla większego zakresu zmian odkształceń pozwala na określenie zmian właściwości tworzyw adhezyjnych zastosowanych w cienkich spoinach [4]. Ograniczeniem tej metody jest założenie takich samych właściwości mechanicznych materiału (kleju) przy rozciąganiu i ściskaniu [1]. Niewielkie wymiary próbek mogą również uniemożliwić założenie ekstensometru i wymusić na badaczu opieranie się na pośrednich odczytach odkształcenia z analizy przemieszczenia trawersu maszyny wytrzymałościowej. Metoda badania jest przedmiotem normy PN-EN ISO 604:2006 [7].

2.2. Próbki odlewane poddawane próbie rozciągania

Kształt i wymiary próbek odlewanych poddawanych próbie rozciągania zdefiniowane są w normie PN-EN ISO 527-2:2012 [8] i PN-EN ISO 527-3:1998 [9]. Ze względu na egzotermiczny proces utwardzania się kleju, podczas odlewania próbek na szczególną uwagę zasługują kształtki małe, których wymiary są najbardziej zbliżone do wymiarów spoiny klejonej (rys. 2).



Rys. 2. Małe kształtki do oznaczania właściwości tworzyw polimerowych przy rozciąganiu
Fig. 2. Small specimen for the determination of the mechanical tensile properties of plastics materials

W normie określono prędkość odkształcenia wynoszącą 1% długości odcinka pomiarowego na minutę, do której należy dążyć podczas oznaczania modułu sprężystości podłużnej. Ekstensometr powinien obejmować całą część pomiarową próbki.

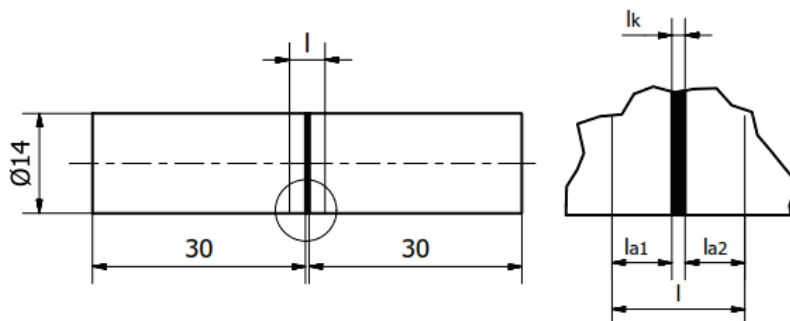
Na podstawie próby rozciągania uzyskuje się więcej danych niż na podstawie próby ściskania. Do osiągnięcia granicy plastyczności wyznaczone właściwości mogą być podobne w obu próbach, ale po jej przekroczeniu mogą wystąpić różnice. W przypadku próby ściskania wyższe wartości może osiągać dożańska wytrzymałość i maksymalne odkształcenie. Z uwagi na większą wytrzymałość połączeń klejonych na ściskanie niż odrywanie, różnica otrzymanych wyników w obu próbach może mieć istotne znaczenie dla określenia wytrzymałości projektowanych złączy [1, 4].

3. PRÓBKİ TYPU IN-SITU

Inny typ próbek do wyznaczania wykresu naprężenie – odkształcenie stanowią próbki *in-situ*. Próbką do badań ma za zadanie odzwierciedlać wymiary rzeczywistego połączenia, charakteryzującego się małym wymiarem warstwy kleju. Próbką składa się z elementów sklepanych połączonych warstwą lub kilkoma warstwami kleju. Niektórzy badacze uzyskują różne wykresy naprężenie – odkształcenie dla próbek odlewanych oraz *in situ* [1, 2]. Różnice tłumaczy się wpływem wielu czynników. Wymienić należy najistotniejsze z nich. Pierwszym są reakcje fizykochemiczne w granicznej warstwie między elementami sklejanymi a klejem. Drugim czynnikiem jest ukierunkowany docisk, który może porządkować strukturę wiążącego kleju i powodować jego anizotropowość. Trzecim jest zwiększenie sztywności cienkiej warstwy kleju przez przylegające do niej elementy sklepane o dużo większym module Younga. Sztywność ta wynika bezpośrednio z zablokowania swobodnego przewężenia kleju, co skutkuje występowaniem trójosiowego stanu naprężeń w spoinie. Czwarty czynnik dotyczy spiętrzenia naprężeń na krawędzi spoiny połączenia czołowego.

3.1. Próbki czołowe z jedną warstwą kleju

Istnieje wiele rodzajów próbek *in situ*. Pierwszy podział dotyczy ilości warstw kleju. Próbki o pojedynczej warstwie kleju, składają się z dwóch metalowych bądź drewnianych elementów sklepanych doczołowo (PN-EN 15870:2009) [10] (rys. 3).



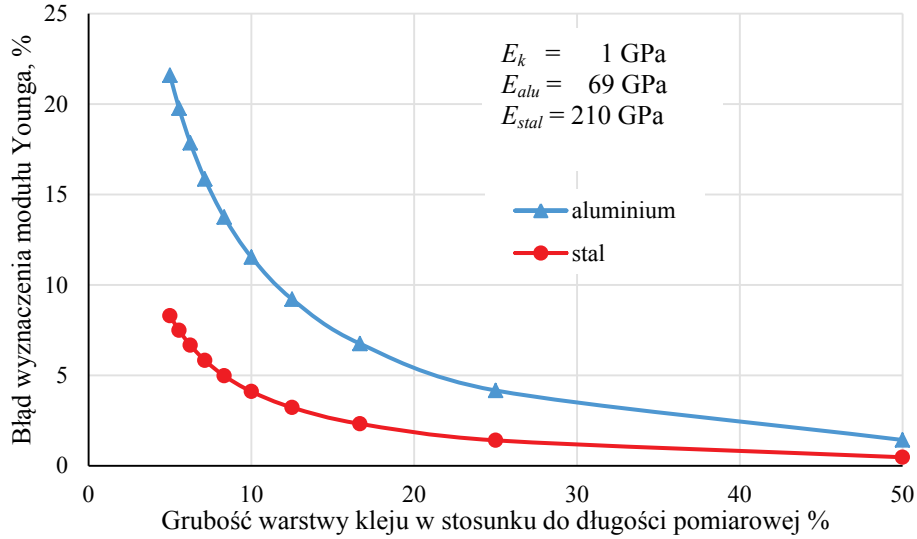
Rys. 3. Próbką doczołowa z jedną warstwą kleju
Fig. 3. Butt specimen with one adhesive layer

Norma przewiduje dwa przekroje elementów sklejaných: kołowy i kwadratowy oraz podaje zalecany wymiar średnicy bądź krawędzi: 10, 15, 25 i 50 mm. Długość elementów sklejaných powinna wynosić trzykrotność średnicy (krawędzi), lecz nie więcej niż 50 mm. Prędkość rozciągania powinna być tak dobrana, aby zerwanie próbki następowało po 60 ± 20 s.

Próbki montuje się w uchwytach maszyny wytrzymałościowej z założonym ekstensometrem, który powinien obejmować warstwę kleju i przyległe części sklejaných elementów. Moduł Younga tworzyw adhezyjnych jest zazwyczaj znacznie niższy od modułów Younga łączonych materiałów. Dla przykładu niektóre kleje epoksydowe mają moduł Younga rzędu 2 GPa, kleje metakrylowe rzędu 1 GPa. Najczęściej stosowanym materiałem sklejanym w omawianych próbkach jest aluminium o module Younga około 69 GPa. Przy tak dużej różnicy wynoszącej ponad 30 razy, odkształcenia względne tworzywa adhezyjnego są dużo większe niż materiałów sklejaných. Przy niewielkiej długości pomiarowej można założyć całkowitą sztywność materiałów sklejaných.

Błąd wyznaczonej wartości modułu Younga materiału adhezyjnego, wynikający z odkształcenia sklejoných części, rośnie wraz ze zwiększeniem długości pomiarowej próbki, przy zachowaniu stałej grubości spoiny (rys. 4). Błąd jest ponadto większy przy mniejszej różnicy sztywności kleju i elementów sklejaných.

Celem zwiększenia dokładności pomiaru można odjąć odkształcenia części sklejaných. W tym celu należy znać dokładne wartości modułu Younga materiałów łączonych i wyliczyć odkształcenia wynikające z ich obciążenia. Połączenia klejone doczołowe zazwyczaj ulegają zniszczeniu przy naprężeniach niższych od granicy stosowności prawa Hooke'a materiałów łączonych, co pozwala w prosty sposób uzyskać pełen wykres naprężenie – odkształcenie dla samej warstwy kleju.



Rys. 4. Wpływ udziału grubości kleju w stosunku do całej długości pomiarowej na wartość błędu wyznaczonego modułu Younga

Fig. 4. Influence of the thickness of the adhesive relative to the whole measuring length on the error value which is determined Young's modulus

Zmierzone odkształcenie Δl jest sumą odkształcenia warstwy kleju Δl_k i przyległych części sklepanych pomiędzy nóżkami ekstensometru Δl_a . Można zatem wyznaczyć odkształcenie warstwy kleju za wzoru:

$$\Delta l_k = \Delta l - \Delta l_a \quad (1)$$

Znając moduł Younga sklepanych części E_a i poziomy naprężenie σ można wyznaczyć ich odkształcenia Δl_a :

$$\Delta l_a = \frac{\sigma}{E_a} \cdot l_a \quad (2)$$

Odształcenia względne ε_k w warstwie kleju wyznacza się ze wzoru:

$$\varepsilon_k = \frac{\Delta l_k}{l_k} \quad (3)$$

gdzie: Δl_k – zmiana długości warstwy kleju,
 l_k – długość początkowa warstwy kleju.

Ostatecznie otrzymujemy wzór na moduł Younga kleju E_k :

$$E_k = \frac{\sigma}{\varepsilon_k} = \frac{\sigma}{\frac{\Delta l - \left(\frac{\sigma}{E_a} \cdot l_a \right)}{l_k}} \quad (4)$$

Wyznaczony w ten sposób moduł Younga kleju jest obarczony jeszcze jednym rodzajem błędu, wynikającym z hamowania odkształceń poprzecznych do kierunku działania siły tworzywa adhezyjnego przez sztywniejszy materiał elementów sklepanych. W wyniku różnicy sztywności warstwa kleju ulega większemu przewężeniu niż elementy sklepane. Powoduje to powstanie w warstwie kleju dodatkowych promieniowych i obwodowych naprężeń. Zakładając, że gdy przewężenie materiałów łączonych jest bliskie 0, powstałe naprężenia będą wynosiły:

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \left(\frac{\nu_k}{1 - \nu_k} \right) \sigma \quad (5)$$

gdzie: σ – naprężenia w osi przyłożenia siły,
 σ_r – naprężenia promieniowe,
 σ_θ – naprężenia obwodowe,
 ν_k – współczynnik Poissona kleju.

Występowanie dodatkowych naprężeń podnosi sztywność połączenia, co powoduje, że moduł Younga kleju E_k' pozornie osiąga większą wartość:

$$E_k' = \frac{\sigma}{\varepsilon_k} = \frac{E_k(1 - \nu_k)}{(1 + \nu_k)(1 - 2\nu_k)} \quad (6)$$

Celem wyznaczenia rzeczywistej wartości modułu Younga E_k , należy po wyznaczeniu z doświadczenia wartości E_k' podstawić ją do poniższego wzoru:

$$E_k = \frac{E_k'(1 + \nu_k)(1 - 2\nu_k)}{(1 - \nu_k)} \quad (7)$$

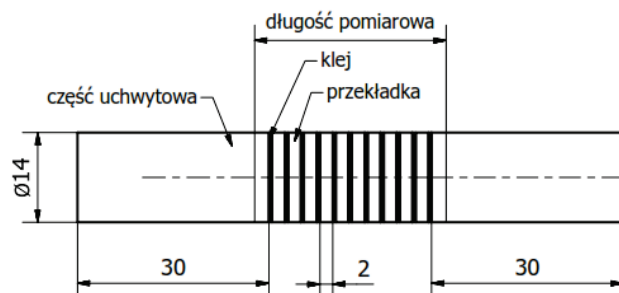
Przy założeniu, że dla klejów strukturalnych wartość współczynnika Poissona mieści się w zakresie od 0,3 do 0,4, rzeczywisty moduł Younga jest od 0,47 do 0,74 mniejszy od pozornie wyznaczonego w doświadczeniu.

W próbkach doczołowych występuje wzrost naprężeń na brzegach połączenia, co w przypadku kruchych tworzyw adhezyjnych, powinno powodować zniszczenie przy mniejszym naprężeniu średnim niż w próbkach odlewanych. Podczas badania tworzyw adhezyjnych plastycznych, próbki doczołowe mogą być wytrzymalsze ze względu na usztywnienie połączenia przez elementy sklepane i wywołany tym samym trójosiowy stan naprężenia w spoinie.

3.2. Próbki czolowe z kilkoma warstwami kleju

Podczas badania próbek czolowych problemem jest pomiar niewielkich odkształceń pojedynczej cienkiej warstwy. Dla przykładowego kleju metakrylowego, grubość warstwy wynosi 0,5 mm, a moduł Younga 1 GPa. Przy naprężeniu połączenia na poziomie 10 MPa, spodziewane odkształcenie wynosić będzie zaledwie 0,005 mm. Pomiar tak niewielkich odkształceń może być problematyczny ze względu na dokładność stosowanego ekstensometru. Niektóre

tworzywa adhezyjne wymagają mniejszej grubości połączenia poniżej 0,1 mm, co powoduje jeszcze większe problemy pomiarowe. Celem zwiększenia mierzonych wartości odkształceń można zastosować próbki z wieloma warstwami kleju. Rosyjska norma (OCT 90245-76) opisuje próbkę składającą się z 11 warstw kleju łączących 10 krążków i dwa elementy chwytowe z metalu (rys. 5). Podczas, gdy próbki doczołowe z pojedynczą warstwą kleju są łatwiejsze technologicznie do wykonania, drugi rodzaj próbek umożliwia pomiar większych odkształceń i podwyższa jego dokładność.



Rys. 5. Próbką doczołowa umożliwiającą pomiar 11 warstw kleju, zalecana przez rosyjską normę OCT 90245-76 [5]

Fig. 5. Butt specimen enables measurement of 11 adhesive layers, recommended by the Russian norm OCT 90245-76 [5]

4. PODSUMOWANIE

Istnienie wielu metod wyznaczania wykresów naprężenie odkształcenie oraz modułu Younga dla tworzyw adhezyjnych jest spowodowane niedoskonałością każdej z nich. Próbki odlewane są trudne technologicznie w wykonaniu i nie odzwierciedlają rzeczywistych procesów zachodzących podczas tworzenia połączenia. Jedną ze znaczących trudności tego sposobu wytwarzania próbek jest egzotermiczny charakter sieciowania kleju. Dla dużej objętości próbek odlewanej wysoka temperatura może spowodować zmiany struktury, powstawanie wad i w konsekwencji zmianę właściwości mechanicznych próbek. Tworzywa stosowane na połączenia klejone cechują się wysoką adhezją, która może utrudnić, a czasami uniemożliwić oddzielenie odlanej próbki od formy. Zaletą przeprowadzenia badania rozciągania odlanych próbek jest możliwość uzyskania w próbkach jednoosiowego stanu naprężeń.

W przypadku próbek doczołowych może dochodzić do koncentracji naprężeń na brzegach połączenia. Można się zatem spodziewać, że przy zastosowaniu tworzywa adhezyjnego kruchego, próbki doczołowe ulegać będą zniszczeniu przy mniejszym naprężeniu średnim niż próbki odlewane. Podczas badania tworzyw adhezyjnych plastycznych, próbki doczołowe mogą być wytrzymalsze ze względu na usztywnienie połączenia przez elementy sklepane i wywołany tym samym trójosiowy stan naprężenia w spoinie. Złożony stan naprężeń w próbkach doczołowych uniemożliwia uzyskanie wprost wykresu naprężenie – odkształcenie, a po-

średnie wyniki po przeliczeniach obarczone są błędami wynikającymi z zastosowanych uproszczeń. Próbkki doczołowe mimo to odzwierciedlają rzeczywiste warunki wiązania kleju w połączeniu, zwłaszcza małą objętość i zastosowany docisk.

Przedstawiony w pracy przegląd metod wyznaczania krzywych naprężenie – odkształcenie, modułu Younga i wytrzymałości na rozciąganie wskazuje na skomplikowany charakter zagadnienia. Każda z przedstawionych metod posiada swoje wady i zalety, których badający musi być świadomy, podejmując decyzję o wyborze jednej z nich.

LITERATURA

- [1] ADAMS R.D., WAKE W.C.: *Structural Adhesive Joints in Engineering*. London: Elsevier; 1984.
- [2] da SILVA L.F.M., DILLARD D.A., BLACKMAN B., ADAMS R.D.: *Testing Adhesive Joints.pdf*. Weinheim: John Wiley & Sons, 2012.
- [3] da SILVA L.F.M., ÖCHSNER A., ADAMS R.D., (ed.): *Handbook of Adhesion Technology*. Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [4] GODZIMIRSKI J., SMAL T., TKACZUK S., ROŚKOWICZ M., KOMOREK A.: *GODZIMIRSKI – Tworzywa adhezyjne Zastosowanie w naprawach sprzętu wojskowego.pdf*. I. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2010.
- [5] GODZIMIRSKI J., TKACZUK S.: *Określenie właściwości mechanicznych spoin klejowych.pdf*. *Technologia i Automatyzacja Montażu* 2004, 95-97.
- [6] KUCZMASZEWSKI J.: *Podstawy konstrukcyjne i technologiczne oceny wytrzymałości adhezyjnych połączeń metali*. Wydawnictwa Uczelniane Lublin, 1995.
- [7] PN-EN ISO 604:2006 – Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwości przy ściskaniu n.d.
- [8] PN-EN ISO 527-2:2012 – Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu – Warunki badań tworzyw sztucznych przeznaczonych do prasowania, wtrysku i wytłaczania.
- [9] PN-EN ISO 527-3:1998 – Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu – Warunki badań folii i płyt.
- [10] PN-EN 15870:2009 – Kleje – Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie połączeń czołowych.

METHODS FOR DETERMINATION OF STRESS-STRAIN CURVES FOR ADHESIVES POLIMERS MATERIALS

Summary: To carry out the analytical and numerical calculations bonding joint bonding is necessary to know the mechanical properties of the used adhesives. Determination of stress-strain curves, provides information on the elastic modulus, yield strength, maximum displacement and data to perform analyzes for a range of plastic deformation. Methods for obtaining these data for the adhesives are different from the standard methods used for metals and plastics. The article compares the different methods of determining the stress-strain curves, indicating the advantages and disadvantages of allowing the researcher to choose the appropriate methods and interpret the results.

Key words: adhesive joints, adhesive, mechanical properties

Paweł MAĆKOWIAK, Bogdan LIGAJ

**ROZWIĄZANIE KONSTRUKCYJNE MASZyny
DO WYTWARZANIA ODLEWANYCH PRÓBEK
TWORZYW ADHEZYJNYCH**

Streszczenie: Do przeprowadzenia obliczeń analitycznych, jak i numerycznych połączeń adhezyjnych niezbędna jest znajomość właściwości mechanicznych zastosowanego tworzywa adhezyjnego. Wyznaczenie wykresu naprężenie – odkształcenie dostarcza informacji o module Younga, doraźnej wytrzymałości, granicy plastyczności, maksymalnym odkształceniu, a także danych do przeprowadzenia analiz dla zakresu odkształceń plastycznych. Odlewanie próbek do badań wymaga zastosowania specjalnych metod ze względu na dużą adhezję odlewanych materiałów, egzotermiczny charakter procesu sieciowania i konieczność uzyskania powtarzalnych produktów niezawierających wad. Celem pracy jest przedstawienie konstrukcji nowej maszyny, która łączy zalety dwóch sposobów uzyskiwania próbek z tworzyw adhezyjnych.

Słowa kluczowe: tworzywa adhezyjne, testowanie właściwości mechanicznych, maszyna do odlewania próbek, wirówka

1. WSTĘP

Połączenia klejone są powszechnie stosowane w konstrukcjach maszyn i urządzeń. Metody obliczeniowe stosowane przez konstruktorów, celem określenia wytrzymałości i trwałości, wymagają znajomości właściwości mechanicznych tworzyw adhezyjnych [1, 6]. Ze względu na wysoką adhezję, często bardzo szybki egzotermiczny proces sieciowania tych tworzyw, wykonanie próbek do badań, wymaga zastosowania specjalnych urządzeń [2, 3]. Badania właściwości mechanicznych tworzyw adhezyjnych można dokonywać na próbkach odlewanych i na próbkach z cienką warstwą spoiny imitującej rzeczywiste połączenie [4, 5]. Metody i różnice badań wyznaczania krzywych naprężenie – odkształcenie na obu rodzajach próbek podano w [7].

Istnieje wiele sposobów uzyskiwania odlewów z tworzyw adhezyjnych. W każdej metodzie występuje forma, najczęściej wykonana z materiału, który nie łączy się z odlewającym tworzywem [5]. Wśród materiałów na formy wielorazowe dominuje teflon i silikon. Formy jednorazowe mogą być wykonane z polietylenu, wosku lub innych tworzyw, które łatwo usunąć, stosując obróbkę

mgr inż. Paweł MAĆKOWIAK, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy,
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz,
e-mail: pawel.mackowiak@utp.edu.pl

dr hab. inż. Bogdan LIGAJ, prof. nadzw. UTP, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy,
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz,
e-mail: bogdan.ligaj@utp.edu.pl

mechaniczną. Formy metalowe i tworzywowe, celem oddzielenia od nich odlewów, pokrywa się rozdzielaczami, zawierającymi alkohol poliwinylowy, woski lub rozdrobnione silikony. Rozdzielacz nanosi się na powierzchnię gniazda formującego formy sprayem bądź pędzlem. Maszyny i urządzenia do odlewania próbek można podzielić na takie w których:

- a) tworzywo adhezyjne jest odlewane grawitacyjnie do otwartej formy, bez wywierania dodatkowego docisku [4],
- b) tworzywo adhezyjne jest odlewane do formy zamkniętej, gdzie wywierana jest dodatkowa siła docisku [2, 3],
- c) tworzywo adhezyjne jest odlewane rotacyjnie w zamkniętej wirującej formie, a na materiał odlewany oddziałuje siła odśrodkowa powodująca powstanie w nim ciśnienia [2].

Tworzywo adhezyjne w połączeniu klejonym utwardza się podczas docisku dwóch łączonych elementów. W literaturze i wskazaniach producentów zalecana wartość docisku wynosi 2 MPa [8]. Takie warunki utwardzania odzwierciedla druga grupa wymienionych wyżej maszyn i urządzeń.

Podczas odlewania istnieje problem dokładnego wypełnienia formy i odprowadzenia z niej powietrza. Niektóre tworzywa adhezyjne cechują się większą lepkością w stanie przed utwardzeniem, przyjmując konsystencję plastycznej masy. Wydzielająca się duża ilość ciepła oraz zbędne produkty w egzotermicznym procesie sieciowania mogą powodować powstawanie w odlewie pęcherzy gazowych. Ponadto, w odlewanej próbce znajduje się większa objętość tworzywa adhezyjnego niż w próbkach imitujących rzeczywiste połączenia klejone, co przyczynia się do większej ilości wytworzonego ciepła i trudniejszego jego odprowadzenia. Sprawia to, że zasadnym staje się stosowanie maszyn z trzeciej wymienionej wyżej grupy, wykorzystujących siłę odśrodkową do równomiernego rozprowadzenia i odpowietrzenia odlewanych materiałów.

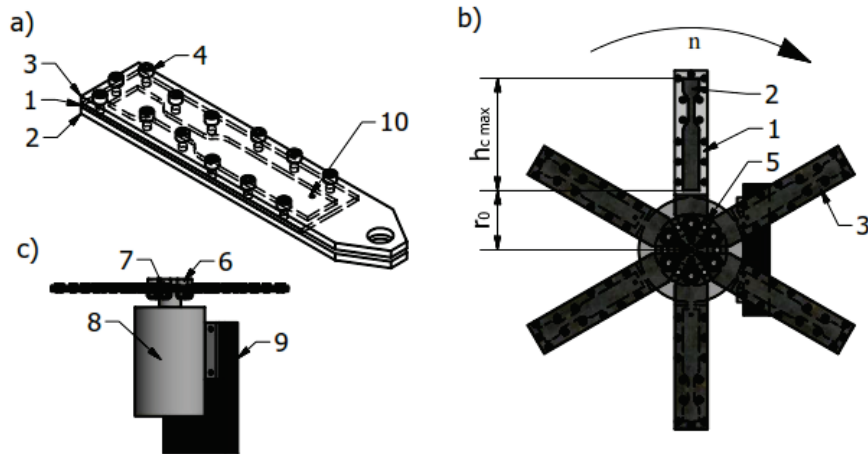
Celem pracy jest przedstawienie konstrukcji nowego urządzenia do wytwarzania odlewanych próbek tworzyw adhezyjnych, łączącego zalety maszyn z grupy drugiej i trzeciej.

2. ISTNIEJĄCE ROZWIĄZANIE KONSTRUKCYJNE

2.1. Budowa maszyny

Rozwiązanie konstrukcyjne wirówki do wykonywania odlewanych próbek typu wioselko z tworzyw adhezyjnych zostało przedstawione w książce da Silva *Testing Adhesive Joints* [2]. Na rysunku 1 zaprezentowano urządzenie zaprojektowane na wzór istniejącego rozwiązania konstrukcyjnego. Formę (1) z wyciętym kształtem odlewanej próbki typu wioselko, umieszczono pomiędzy podstawą formy (2) a zamknięciem formy (3). Kształt wyciętej próbki w formie (1) ma dłuższą część chwytową celem zmagazynowania większej ilości tworzywa adhezyjnego. Szczelne przyleganie formy (1) do podstawy (2) i zamknięcia (3) jest realizowane poprzez śruby (4), wkręcane w gwintowane otwory w podstawie (2).

Tak złożone zespoły formy mocowano do tarczy z piastą (5) (rys. 1b), za pośrednictwem śrub (6) (rys. 1c) i nakrętek samohamownych (7). Tarczę z piastą (5) zamontowano na wale silnika (8). Całość zawieszono na podstawie (9).



Rys. 1. Budowa rozwiązania konstrukcyjnego maszyny do odlewania próbek opartego na schematach istniejących rozwiązań: a – podzespół formy, b – widok od góry, c – widok od boku
Fig. 1. The construction of device for casting specimens, based on the patterns of the existing solutions: a – subassembly of form, b – a top view, c – a side view

2.2. Zasada działania maszyny

Do otwartej od góry formy (1), położonej na podstawie (2), wprowadza się maksymalną ilość tworzywa adhezyjnego. Następnie dokręca się zamknięcie formy (3) śrubami (4). Podzespoły montuje się do tarczy z piastą (5). Całość jest napędzana silnikiem (8) do prędkości obrotowej n . W wyniku wirowania na makrocząstki tworzywa adhezyjnego oddziałuje siła odśrodkowa, która powoduje, że warstwy leżące zewnątrz są dociskane z ciśnieniem p_{hi} przez warstwy leżące bliżej osi obrotu.

Ciśnienie hydrostatyczne p_{hi} powstające w odlewanym materiale jest zależne od wysokości słupa cieczy h_c nad rozpatrywanym przekrojem, przyspieszenia odśrodkowego a_{od} oraz gęstości cieczy ρ_c :

$$p_{hi} = h_c \cdot a_{od} \cdot \rho_c \quad (1)$$

Wartość gęstości cieczy ρ_c jest znana dla danego materiału. Wysokość słupa cieczy nad rozpatrywanym przekrojem h_c wynika bezpośrednio z długości formy i położenia rozpatrywanego przekroju. Wartość przyspieszenia odśrodkowego a_{od} zmienia się wraz z odległością od osi obrotu r_i i określa ją zależność:

$$a_{od} = \frac{v^2}{r_i} \quad (2)$$

gdzie: v – prędkość liniowa,
 r_i – odległość od osi obrotu.

Z racji, że prędkość kątowna ϖ określona jest wzorem:

$$\varpi = \frac{v}{r_i} \quad (3)$$

Podstawiając powyższe równanie do równania (2), otrzymujemy:

$$a_{od} = \omega^2 r_i \quad (4)$$

Pomiędzy prędkością kątowną a prędkością obrotową n wyrażoną w obr/min występuje zależność:

$$\varpi = \frac{2\pi n}{60} \quad (5)$$

Podstawiając powyższe równanie do równania (4), otrzymujemy:

$$a_{od} = \left(\frac{2\pi n}{60}\right)^2 \cdot r_i \quad (6)$$

Przyjmując układ współrzędnych, którego początek mieści się w osi obrotu, można przyjąć początek odlewu na odległości r_0 . Wysokość słupa cieczy h_c będzie określona więc wzorem:

$$h_c = r_i - r_0 \quad (7)$$

Podstawiając powyższe równanie do równania (1), otrzymujemy:

$$p_{hi} = (r_i - r_0) \cdot \left(\frac{2\pi n}{60}\right)^2 \cdot r_i \cdot \rho_c \quad (8)$$

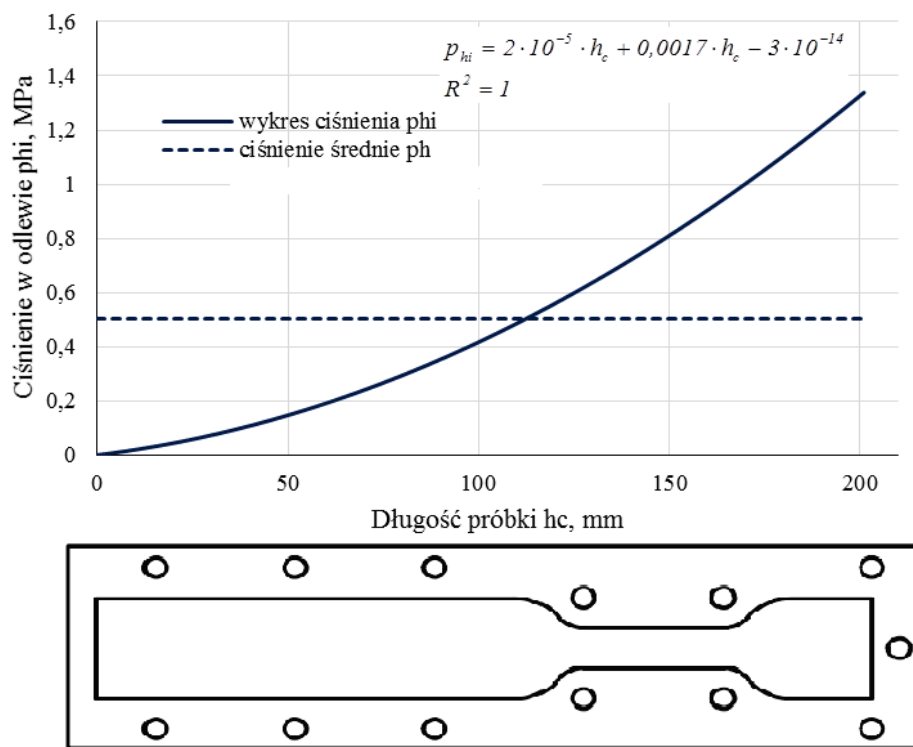
2.3. Wyznaczenie rozkładu ciśnienia w odlewanej próbce

W celu wyznaczenia rozkładu ciśnienia w odlewany materiał przyjęto wartości zaprezentowane w tabeli 1 i dokonano obliczeń zgodnie ze wzorem (8).

Tabela 1. Dane do obliczeń rozkładu ciśnienia w odlewany materiał – P1
Table 1. Data for calculating the pressure distribution in the cast material – P1

Wielkość	Oznaczenie	Wartość
odległość początku odlewu od osi obrotu	r_0	0,069 m
odległość końca odlewu od osi obrotu	r_{max}	0,201 m
prędkość obrotowa urządzenia	n	1500 obr/min
gęstość materiału adhezyjnego	ρ_c	1000 kg/m ³

Dokonano interpolacji długości formy. Punkty pomiarowe przyjęto oddalone od siebie o 0,1 mm. Wyliczony rozkład ciśnienia wraz z wyznaczonym wzorem równania przedstawiono na wykresie (rys. 2). Wartość ciśnienia rośnie od 0 MPa do 1,32 MPa. W samej części pomiarowej, odlewanej próbki ciśnienie zmienia swoją wartość od 0,5 do 1 MPa.



Rys. 2. Teoretyczny rozkład ciśnienia w odlewanym materiale w istniejącym rozwiązaniu konstrukcyjnym

Fig. 2. The theoretical pressure distribution in the cast material in the existing structural solution

2.4. Wnioski dotyczące istniejącego rozwiązania konstrukcyjnego

W istniejącym rozwiązaniu konstrukcyjnym uzyskuje się nierównomierny rozkład ciśnienia, imitujący docisk elementów sklepanych w rzeczywistym połączeniu klejonym. Stwarza to inne warunki utwardzania się tworzywa w różnych fragmentach formy, co może wpłynąć na wyniki późniejszych doświadczeń.

Aplikacja materiału odlewanego do formy, jej zamknięcie, zmontowanie oraz rozpędzenie części wirujących zajmują znaczną ilość czasu. W przypadku tworzyw adhezyjnych o długim czasie sieciowania, istnieje zagrożenie wystąpienia różnic w odlanych za jednym razem próbkach. Wynika to z różnicy czasów pomiędzy odlaniem materiału w kolejnych formach a rozpędzeniem ich do prędkości obrotowej n . W przypadku tworzyw szybkowiązających, nawet poniżej 3 minut, problem ten staje się znaczący. Ponadto, istnieje dość duże prawdopodobieństwo, wystąpienia trudności w rozpędzeniu maszyny do zadanej prędkości obrotowej przed utwardzeniem się odlewanego materiału.

3. WŁASNE ROZWIĄZANIE KONSTRUKCYJNE

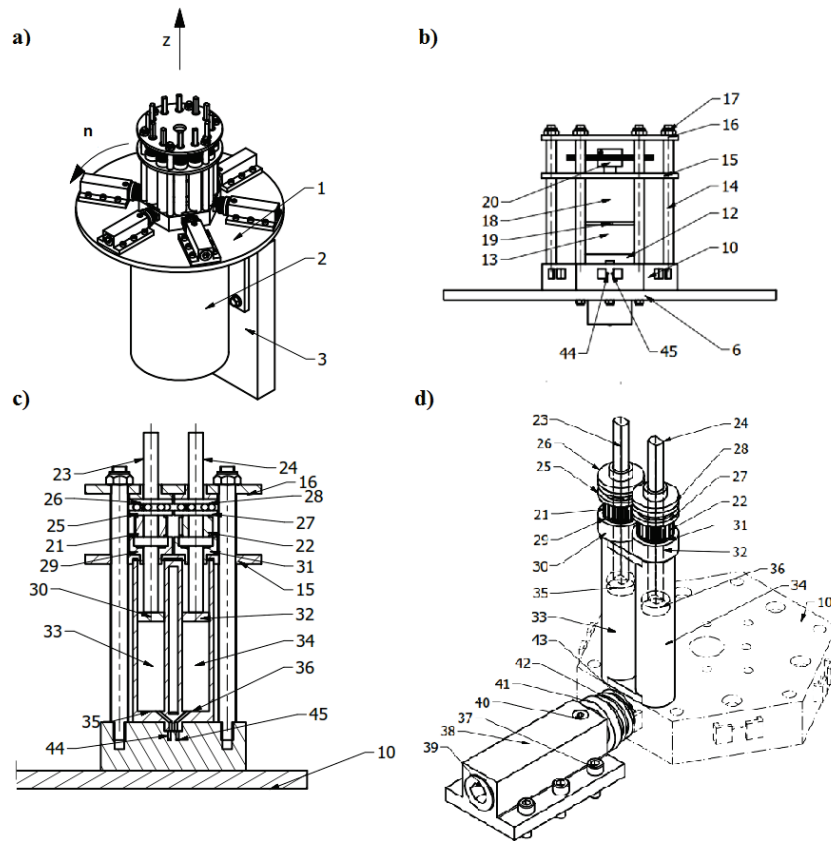
Własne rozwiązanie konstrukcyjne jest próbą wyjścia naprzeciw problemom omówionym we wnioskach w podrozdziale 2.4. W celu odlewania tworzyw adhezyjnych o krótkim czasie sieciowania, postanowiono umieścić w części wirującej osobne zbiorniki z dwoma składnikami, których zmieszanie następuje już w trakcie osiągnięcia wymaganej prędkości obrotowej. Po to, aby wyrównać rozkład ciśnienia w odlewany materiał, przyjęto możliwość zmniejszenia prędkości obrotowej silnika. Wymaganą wartość ciśnienia postanowiono uzyskać za pomocą wtlaczania tworzywa do gniazda formy pod dodatkowym ciśnieniem.

3.1. Budowa maszyny

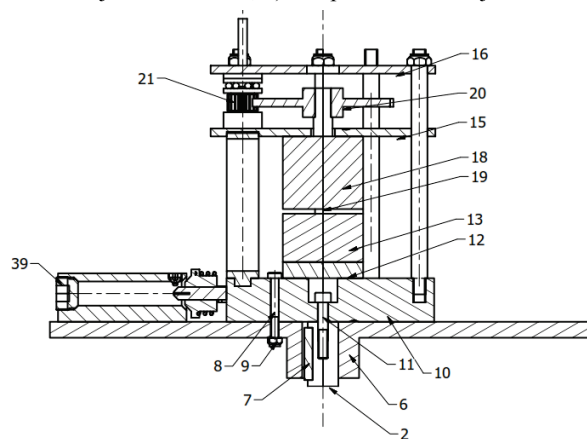
Maszyna (rys. 3a) składa się z części wirującej (1) zamontowanej na wale silnika (2) zamocowanego do postawy (3). Część wirująca (1) składa się z części centralnej (rys. 3b) oraz z sześciu podzespołów (rys. 3c i 3d) o identycznej budowie rozmieszczonych równomiernie na obwodzie części wirującej (1) (rys. 4).

Do części centralnej należy płyta z piastą (6), która jest połączona wpustem (7) z wałem silnika (2). Do płyty z piastą (6) jest zamontowany za pomocą czterech śrub (8) i nakrętek (9) rozdzielacz (10), który dokręcony jest do czoła wału silnika (2) za pomocą śruby (11). Do rozdzielacza przykręcony jest sterownik (12) i akumulator (13) oraz wkręcone jest sześć przewodnic (14), które przechodzą przez płytę dolną (15) oraz płytę górną (16). Płyta górna (16) jest od góry zabezpieczona nakrętkami (17), które nakręcone są na końce przewodnic (14). Do płyty dolnej (15) przykręcony jest silnik (18), połączony przewodami (19) z akumulatorem (13) i sterownikiem (12). Na wale silnika (18) zamontowane jest koło centralne (20).

Do podzespołów (rys. 3c, 3d) rozmieszczonych kołowo-symetrycznie należą koła zębate (21) napędzane kołem centralnym (20). Koła zębate obwodowe (21) i (22), mają centralny otwór nagwintowany do współpracy ze śrubami (23) i (24). Koła zębate obwodowe (21) łożyskowane jest od góry za pomocą łożyska wzdłużnego (25), ustalonego w płycie górnej (16) za pomocą tulei (26). Koło zębate (22) łożyskowane jest od góry za pomocą łożyska wzdłużnego (27), ustalonego w płycie górnej (16) za pomocą tulei (28). Koło zębate (21) łożyskowane jest od dołu za pomocą łożyska (29), ustalonego w płycie dolnej (15) za pomocą tulei (30). Koła zębate (22) łożyskowane jest od dołu za pomocą łożyska (31), ustalonego w płycie dolnej (15) za pomocą tulei (32). Tuleje (30) i (32) blokują dodatkowo możliwość obrotu śrub (23) i (24). Pomiędzy płytą dolną (15) a rozdzielaczem (10) znajdują się zasobniki (33) i (34), z oddzielnymi dwoma składnikami kleju. O tłok zasobnika (35) oparta jest śruba (23) a o tłok zasobnika (36) śruba (24). Do płyty z piastą (6) przykręcone są za pomocą śrub (37) formy (38). Formy (38) zaślepione są od zewnątrz dokręcanymi korkami (39). W górnej powierzchni formy występuje korek odpowietrzający (40) z otworem odpowietrzającym.



Rys. 3. Budowa nowego rozwiązania konstrukcyjnego: a) całe urządzenie, b) część centralna, c) podzespół do włączania tworzywa, d) podzespół do włączania tworzywa z formą
Fig. 3. Construction of a new structural solution: a) the entire device, b) the central portion, c) component of the injection material, d) component of the injection material with form



Rys. 4. Budowa części centralnej nowego rozwiązania konstrukcyjnego
Fig. 4. The construction of the central part of the new constructional solution

Do wewnętrznych otworów form są dociśnięte elementy dociskające (41). Elementy dociskające (41) są dociskane do form (38) za pośrednictwem sprężyny (42), opierającej się drugim końcem o rozdzielacz. W otworach elementów dociskających (41) znajdują się miksery (43), które są połączone kształtowo z rozdzielaczem (10). W rozdzielaczu (10) występują kanały (44) i (45) prowadzące od zasobników z oddzielnymi składnikami kleju do dwóch wejść mikserów (43). Mikser (43) posiada na drugim końcu pojedynczy kanał wylotowy (4) dla zmieszanego kleju.

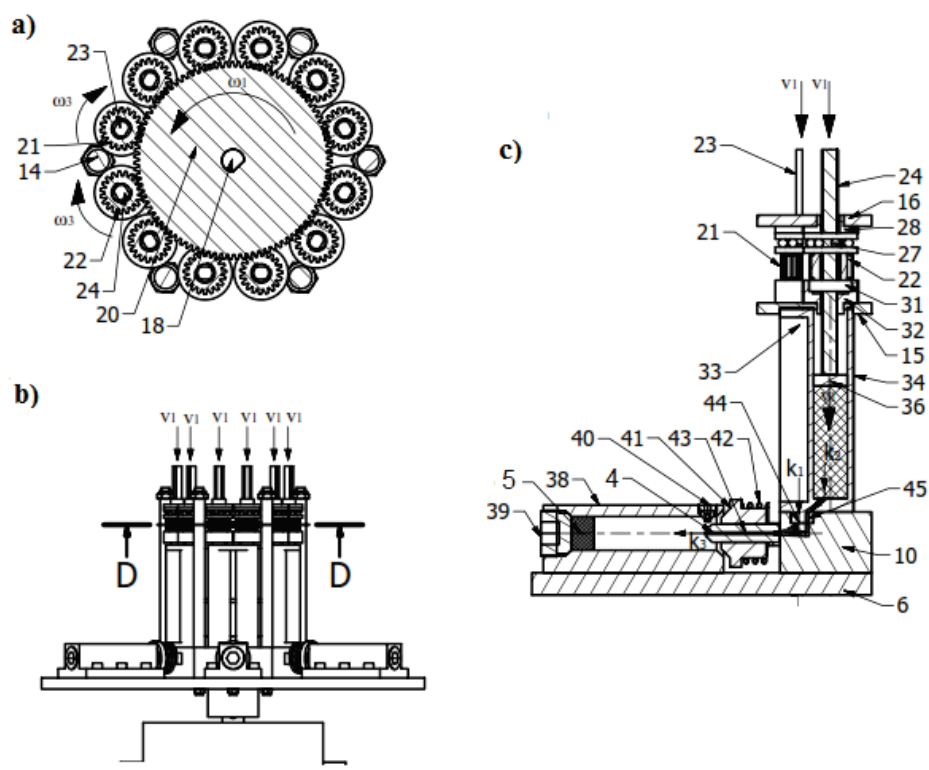
3.2. Zasada działania maszyny

Oczyszczoną formę (38), korek (39), korek odpowietrzający (40), docisk (41), pokrywa się ręcznie rozdzielaczem do form na wszystkich powierzchniach mających kontakt z klejem. Na rozdzielacz (10) nakłada się miksery (43). Na dociski (41) nakłada się sprężyny (42), a następnie nasuwa na miksery (43). Formę (38) z przykręconym korkiem (39) oraz korkiem odpowietrzającym (40) przyciska się do docisku (41) i wkręca śruby (37) mocujące formę do płyty z piastą (6). W otwory w rozdzielaczu (10) montuje się połączone z sobą zasobniki (33) i (34) z oboma składnikami kleju. Następnie montuje się płytę dolną (15) i górną (17) z resztą osprzętu, poprzez dokręcenie nakrętek (17) do prowadnic (14).

Silnik z enkoderem (2) napędza część wirującą (1) urządzenia, która wykonuje ruch obrotowy względem swojej długiej osi z , z prędkością kątową ω_1 . Sterownik (12) po czasie t_1 od uruchomienia włącza silnik (18) zasilany z akumulatora (13). Silnik (18) wprowadza w ruch obrotowy koło centralne, które wykonuje ruch obrotowy względem swojej długiej osi z , z prędkością kątową ω_2 . Koło centralne (20) zazębia się ze wszystkimi kołami zębatymi obwodowymi (21) i (22), wprowadzając je w ruch z prędkością kątową ω_3 (rys. 5a). Koła zębate obwodowe (21) i (22) stanowią jednocześnie „nieruchome” nakrętki w mechanizmach śrubowych powodując przemieszczenie się śrub (23) i (24) w dół z prędkością v_1 (Rys. 5b). Śruby (23) i (24), przemieszczając się w dół naciskają na toki zasobników (35) i (36), powodując oddzielne wyciskanie dwóch składników kleju k_1 i k_2 do kanałów (44) i (45) a następnie do mikserów (43) (rys. 5c). W mikserach (43) następuje zmieszanie obu składników kleju a następnie wytłoczenie ich mieszanki k_3 do wnętrza formy (38). Pod wpływem siły odśrodkowej klej osiada na obwodowej stronie formy (5), wypierając powietrze do środkowej części formy (38) i następnie przez korek odpowietrzający (40) na zewnątrz urządzenia. Po zapełnieniu całej formy (38) klej w wyniku zbyt małej średnicy korka odpowietrzającego (40) nie jest w stanie wypłynąć z formy, co powoduje wzrost ciśnienia we wnętrzu formy (38). Ostatecznie ciśnienie wewnątrz formy jest sumą ciśnienia hydrostatycznego kleju i ciśnienia wywołanego naciskiem śrub (23) i (24) na tłoki zasobników (35) i (36).

W momencie przeciążenia silnika (18), wynikającego z przekroczenia maksymalnej mocy, jaką może pobierać silnik (18), następuje jego zatrzymanie.

Wysłany zostaje sygnał radiowy ze sterownika (12) do silnika (2) i jego wyłączenie. Po zatrzymaniu rozmontowuje się układ w odwrotnej kolejności i po odczekaniu czasu do całkowitego związania kleju wyciąga próbki z form.



Rys. 5. Schemat działania urządzenia: a) mechanizm kół zębatach, b) ruch tłoków, c) mechanizm wtrysku tworzywa

Fig. 5. Diagram of operation: a) the mechanism gears, b) the movement of the piston, c) a mechanism for plastic injection

3.3. Wyznaczenie rozkładu ciśnienia w odlewanej próbce

W proponowanym rozwiązaniu ciśnienie całkowite w formie p_{ci} będzie sumą ciśnienia hydrostatycznego p_{hi} , wynikającego z działania siły odśrodkowej oraz z dodatkowego ciśnienia p_t zadawanego przez tłok w zasobniku:

$$p_{ci} = p_{hi} + p_t \quad (9)$$

Tłok musi wywierać na ciecz większe ciśnienie niż p_t ze względu na straty w kanałach i mikserze.

W celu wyznaczenia rozkładu ciśnienia w odlewanym materiale przyjęto wartości zaprezentowane w tabeli 2 i dokonano obliczeń zgodnie ze wzorem (8) i (9).

Tabela 2. Dane do obliczeń rozkładu ciśnienia w odlewanym materiale – P2
Table 2. Data for calculating the pressure distribution in the cast material – P2

Wielkość	Oznaczenie	Wartość
odległość początku odlewu od osi obrotu	r_0	0,069 m
odległość końca odlewu od osi obrotu	r_{max}	0,201 m
prędkość obrotowa urządzenia	n	1500 obr/min
gęstość materiału adhezyjnego	ρ_c	1000 kg/m ³
ciśnienie dodatkowe tłoka	p_t	1,27 MPa

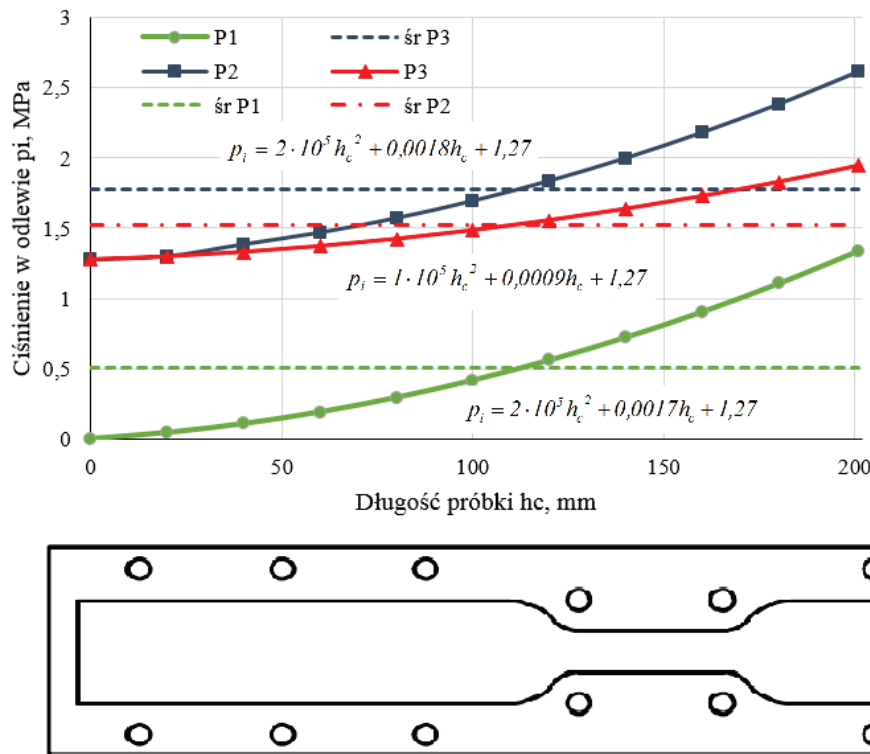
Dokonano interpolacji długości formy. Punkty pomiarowe przyjęto oddalone od siebie o 0,1 mm. Wyliczony rozkład ciśnienia P2 wraz z wyznaczonym wzorem równania przedstawiono na wykresie (rys. 6). Wartość ciśnienia rośnie od 1,27 MPa do 2,61 MPa. W części pomiarowej, odlewanej próbki ciśnienie zmienia swoją wartość od 1,87 do 2,37 MPa. Różnica pomiędzy maksymalnym a minimalnym ciśnieniem nie uległa zmianie w stosunku do zwykłego odlewania rotacyjnego (P1), następuje jednak podwyższenie ciśnienia w części pomiarowej do zakresu zalecanej wartości docisku 2 MPa.

Celem zmniejszenia gradientu ciśnień w próbce, można zmniejszyć prędkość obrotową, pozostawiając lub zwiększając ciśnienie wytłaczania tworzywa. W celu pokazania różnicy wykonano symulację dla parametrów podanych w tabeli 3, przy 3-krotnym zmniejszeniu prędkości wirowania.

Tabela 3. Dane do obliczeń rozkładu ciśnienia w odlewanym materiale – P3
Table 3. Data for calculating the pressure distribution in the cast material – P3

Wielkość	Oznaczenie	Wartość
odległość początku odlewu od osi obrotu	r_0	0,069 m
odległość końca odlewu od osi obrotu	r_{max}	0,201 m
prędkość obrotowa urządzenia	n	500 obr/min
gęstość materiału adhezyjnego	ρ_c	1000 kg/m ³
ciśnienie dodatkowe tłoka	p_t	1,27 MPa

Wyliczony rozkład ciśnienia P3 wraz z wyznaczonym wzorem równania przedstawiono na wykresie (rys. 6). Wartość ciśnienia rośnie od 1,27 MPa do 1,87 MPa. W stosunku do wyników z poprzedniej symulacji, nastąpiło zmniejszenie średniego ciśnienia w zakresie od 1,7 do 1,5 MPa. Celem uzyskania zbliżonych wartości średnich w obu symulacjach należałoby podnieść ciśnienie wytłaczania tworzywa o 0,2 MPa. W części pomiarowej, odlewanej próbki ciśnienie zmienia swoją wartość z około 1,5 do 1,7 MPa. Różnica pomiędzy maksymalnym a minimalnym ciśnieniem w części pomiarowej próbki uległa zmianie z 0,5 MPa do 0,2 MPa.



Rys. 6. Porównanie teoretycznych rozkład ciśnienia w odlewanym materiale w istniejącym rozwiązaniu konstrukcyjnym i nowym rozwiązaniu przy zastosowaniu różnych parametrów
Fig. 6. Comparison of the theoretical pressure distribution in the cast material in the existing and the new solution using various parameters

4. PODSUMOWANIE

Stosowane dotychczas maszyny i urządzenia do wytwarzania odlewanych próbek z tworzyw adhezyjnych mają wady i zalety. W artykule przedstawiono nową maszynę, która łączy zalety wirujących form z formami, które zapewniają statyczny docisk odlewanego materiału.

Maszyna zmniejsza nierównomierny rozkład ciśnienia w odlewanym tworzywie adhezyjnym. Odzwierciedla to w większym stopniu docisk elementów sklejanych w rzeczywistym połączeniu klejonym.

Ze względu na rozpoczęcie napełniania formy, po uprzednim ich rozpędzeniu do wymaganej prędkości obrotowej, możliwe jest odlewanie tworzyw adhezyjnych o krótkim czasie sieciowania. Dzięki jednoczesnemu napełnieniu form, uzyskuje się jednakowe warunki wytwarzania wszystkich próbek.

Zwiększenie ciśnienia w wirującej formie poprzez wtłaczanie do niej tworzywa adhezyjnego pod ciśnieniem, umożliwia zmniejszenie prędkości obrotowej, co przekłada się na wzrost bezpieczeństwa użytkowania maszyny.

Wadami proponowanego rozwiązania konstrukcyjnego jest skomplikowana budowa, wymagająca zastosowania precyzyjnej obróbki mechanicznej i konieczność wywarzenia części wirującej maszyny.

LITERATURA

- [1] da SILVA L.F.M., das NEVES P.J.C., ADAMS R.D., SPELT J.: Analytical models of adhesively bonded joints. Part I: Literature survey. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 29, 3, 2009, 319-330.
- [2] da SILVA L.F.M., DILLARD D.A., BLACKMAN B., ADAMS R.D. *Testing Adhesive Joints*. John Wiley & Sons, 2012.
- [3] da SILVA L.F.M., ÖCHSNER A., ADAMS R.D.: *Handbook of Adhesion Technology*. Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [4] GODZIMIRSKI J., KOMOREK A., SMAL T.: Badania właściwości wytrzymałościowych tworzyw adhezyjnych. *Problemy eksploatacji*, 2007, 157-165.
- [5] GODZIMIRSKI J., SMAL T., TKACZUK S., ROŚKOWICZ M., KOMOREK A.: *Tworzywa adhezyjne. Zastosowanie w naprawach sprzętu wojskowego*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa, 2010.
- [6] KUCZMASZEWSKI J.: *Podstawy konstrukcyjne i technologiczne oceny wytrzymałości adhezyjnych połączeń metali*. Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Lubelskiej, 1995.
- [7] MAĆKOWIAK P., LIGAJ B.: Metody wyznaczania krzywych naprężenie – odkształcenie tworzyw adhezyjnych. *Postępy w Inżynierii Mechanicznej/Developments in Mechanical Engineering* 7(4), 2016.
- [8] PN-EN 1465:2009 Kleje – Oznaczanie wytrzymałości na ścinanie przy rozciąganiu połączeń na zakładkę.

STRUCTURAL SOLUTION OF DEVICE FOR MANUFACTURING SPECIMENS OF ADHESIVES MATERIALS

Summary: To carry out the analytical and numerical calculations of adhesive bonded joints is necessary to know the mechanical properties of the adhesive material. Determination of stress-strain diagram provides information on the modulus emergency strength, yield strength, maximum deformation, and data to perform the analyzes for a range of plastic deformation. Casting specimens requires the use of special methods due to the high adhesion of the cast material, the exothermic nature of the crosslinking process and the need to achieve reproducible products are not short-circuiting defects. Currently existing equipment for the manufacture of molded specimens of adhesive has advantages and disadvantages. This article presents the design of a new machine, which combines the advantages of two methods for casting specimens of adhesive materials.

Key words: adhesive materials, testing mechanical properties, casting machine, casted specimens, centrifuge

Łukasz PEJKOWSKI, Angela ANDRZEJEWSKA

**WYTRZYMAŁOŚĆ POJEDYNCZEJ WARSTWY
POLILAKTYDU (PLA) WYKONANEJ METODĄ DRUKU 3D
W WARUNKACH MONOTONICZNEGO ROZCIĄGANIA**

Streszczenie: Druk trójwymiarowy jest jedną z najprężniej rozwijających się technik wytwarzania prototypów i małoseryjnych wyrobów. Właściwości mechaniczne elementów konstrukcyjnych wytwarzanych metodą druku 3D zależą od rodzaju użytego materiału oraz przyjętych parametrów, takich jak wysokość warstwy i ukierunkowanie włókien materiału. W pracy przedstawiono wyniki badań wytrzymałości mechanicznej w warunkach jednoosiowego rozciągania pojedynczej warstwy wydruku trójwymiarowego, wykonanego z polilaktydu (PLA).

Słowa kluczowe: polilaktyd, próba monotonicznego rozciągania, druk 3D

1. WSTĘP

Poszukiwanie nowych materiałów i metod ich obróbki doprowadziło w ostatnich latach do szybkiego rozwoju addytywnych technik wytwarzania. Wśród metod takich, jak selektywne spiekanie proszków (SLS), stereolitografia (SLA), topnienie za pomocą wiązki elektronów (EBM), jedną z najczęściej wykorzystywanych metod addytywnych jest drukowanie trójwymiarowe, zwane również metodą FDM. Jest to metoda szybkiego prototypowania lub szybkiego wytwarzania, dostępna zarówno dla użytkowników indywidualnych, jak również w zastosowaniach komercyjnych. Druk 3D stosowany jest m.in. w tworzeniu prototypów nowych rozwiązań inżynierskich [5], wyrobów wzorniczych, a także coraz częściej w planowaniu przedoperacyjnym [1] lub w inżynierii tkankowej [2]. Wśród materiałów termoplastycznych, wykorzystywanych w drukowaniu trójwymiarowym wykorzystuje się głównie kopolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy (ABS) oraz biodegradowalny polikwas mlekowy, czyli polilaktyd (PLA).

Wytrzymałość mechaniczna wydruków trójwymiarowych determinowana jest przez parametry wydruku, takie jak: orientacja ekstrudowanych włókien, wysokość pojedynczej warstwy, a także stopień wypełnienia powierzchni wydruku [3]. W podejściu przemysłowym istotna jest znajomość zachowania pojedynczej warstwy drukowanego wyrobu [4], a także wpływ liczby warstw na jego wytrzymałość mechaniczną [4].

dr inż. Łukasz PEJKOWSKI, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy,
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz,
e-mail: lukasz.pejkowski@utp.edu.pl

mgr inż. Angela ANDRZEJEWSKA, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy,
Wydział Inżynierii Mechanicznej, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz,
e-mail: angela.andrzejewska@utp.edu.pl

Celem pracy jest przedstawienie wyników badań wytrzymałości mechanicznej pojedynczej warstwy wydruku, wykonanej z polilaktydu w próbie jednoosiowego rozciągania.

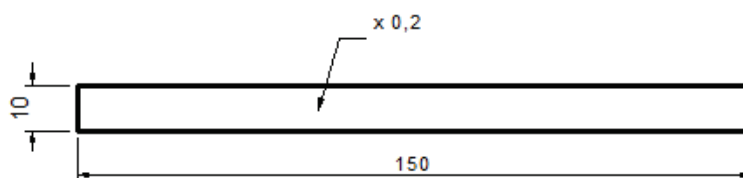
Zakres badań obejmował przeprowadzenie próby monotonicznego rozciągania na próbkach wykonanych w dwóch wariantach ułożenia ścieżek wypełniających wydruk: pod kątem 45° i 90° w stosunku do osi próbki. Wykonano pięć sztuk próbek na wariant.

2. MATERIAŁY I METODY

Próbki do badań wykonano w technologii druku 3D, z użyciem drukarki DaVinci 1,0 A firmy XYZ Printing, wyposażonej w ekstruder o średnicy 0,4 mm. Jako materiał do wykonania próbek zastosowano oryginalny filament firmy XYZ Printing, bez dodatku pigmentów, o średnicy 1,75 mm. Druk przeprowadzono dla następujących paramentów technologicznych:

- wysokość warstwy: 0,2 mm,
- szerokość obwiedni: „normal” (dwie ścieżki),
- prędkość wydruku: „slow” (zalecana przez producenta dla wydruków o dużej jakości),

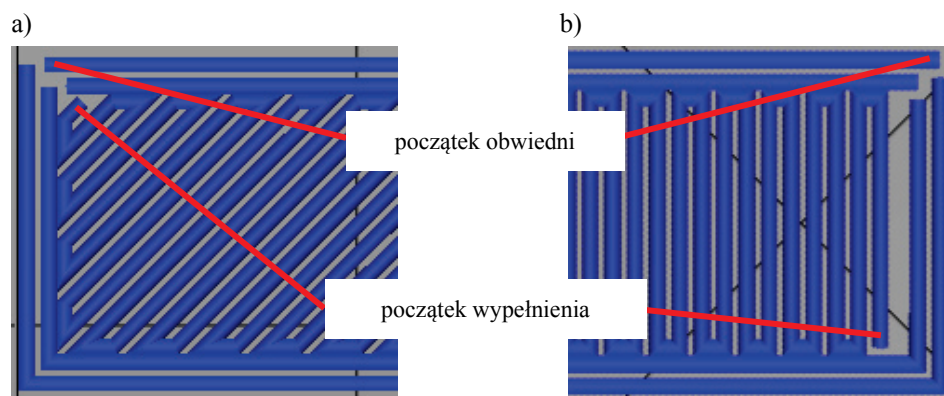
Do przeprowadzenia badań zastosowano procedurę opisaną w normie EN ISO 527-1. Ze względu na małą grubość próbek, ich geometrię opracowano na podstawie normy EN ISO 527-3, dotyczącej folii i płyt. Wymiary próbki typu 2 wg wspomnianej normy przedstawiono na rysunku 1. Badania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej Instron ElectroPuls E3000, o zakresie siły ± 3000 N, z prędkością przemieszczenia trawersu wynoszącą 1 mm/min. Próby prowadzono do zniszczenia próbki.



Rys. 1. Wymiary próbek do badań

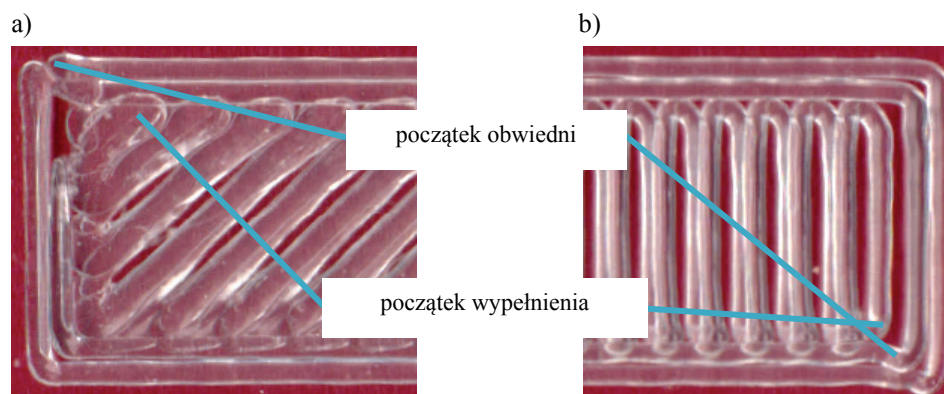
Fig. 1. Specimens dimensions

Próbki wydrukowano w dwóch wariantach (rys. 2 i 3). W pierwszym, ścieżki stanowiące wypełnienie, ułożone zostały pod kątem 45° w stosunku do osi próbki, a w drugim pod kątem 90° .



Rys. 2. Zrzut ekranu z programu XYZware, służącego do generowania ścieżki wydruku; fragmenty dwóch wariantów próbek zastosowanych do badań: a) ścieżki wypełniania ułożone pod kątem 45° do osi próbki i b) pod kątem 90°

Fig. 2. Screenshot of XYZware used to generate the toolpath; fragments of two specimen print variants: a) toolpaths positioned at 45° angle to the specimen's axis and b) at 90° angle



Rys. 3. Zdjęcie fragmentu próbki po wydruku: a) ścieżki wypełniania ułożone pod kątem 45° do osi próbki i b) pod kątem 90°

Fig. 3. Printed specimen fragment: a) toolpaths positioned at 45° angle to the specimen's axis and b) at 90° angle

3. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

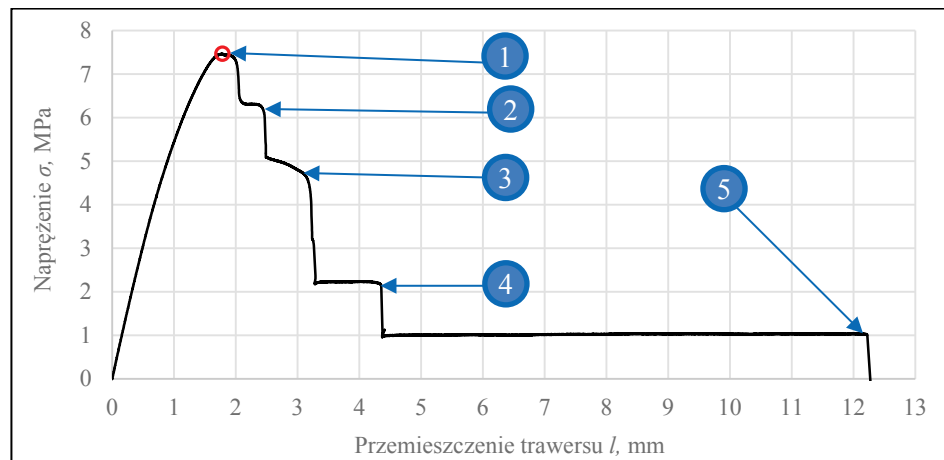
W wyniku przeprowadzonych badań wyznaczono maksymalną siłę F_{max} , wskazaną przez siłomierz maszyny wytrzymałościowej, odpowiadającą wytrzymałości na monotoniczne rozciąganie σ_M (czerwony punkt na rys. 4-6). Mimo że materiał nie jest jednorodny założono, że siłę F_{max} należy odnieść do pola powierzchni przekroju poprzecznego próbki, podobnie jak ma to miejsce w przypadku materiałów porowatych, np. kości [6].

Oprócz wymienionych powyżej punktów, na wykresach zauważyć można inne charakterystyczne punkty, oznaczone cyframi od 1 do 5. Punkt 1 odpowia-

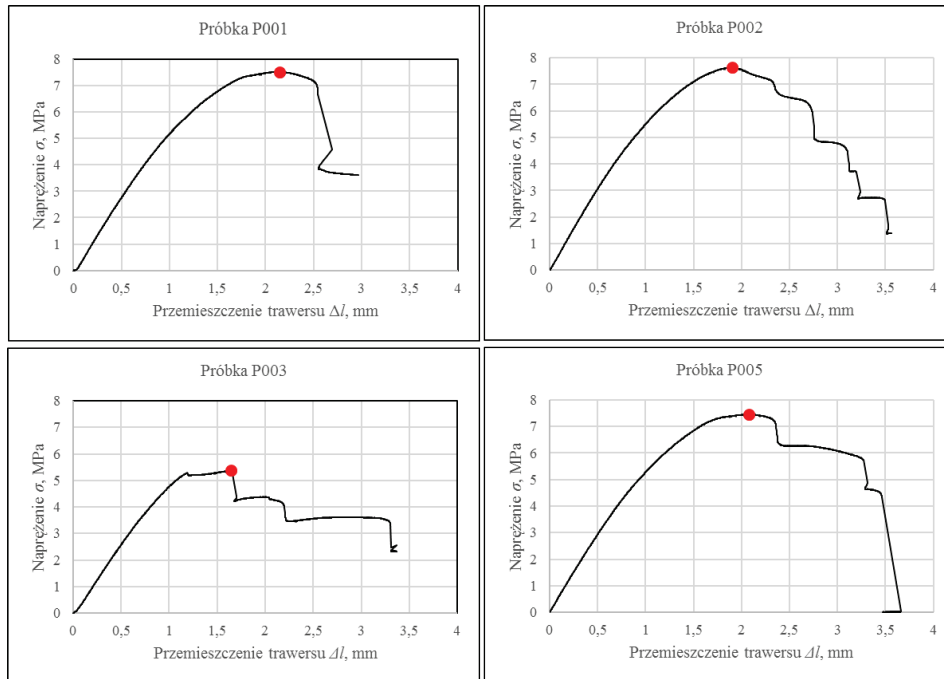
da zniszczeniu połączenia pomiędzy ścieżkami wypełnienia (rys. 3) i należy go jednocześnie uznać za koniec próby. Kolejne punkty zostały przypisane do chwili pęknięcia kolejnych pasm obwiedni. Kolejność ich pęknięcia ma charakter losowy. Nie dla wszystkich próbek punkty od 2 do 5 są zauważalne. W niektórych przypadkach zniszczenie kilku pasm obwiedni występowało jednocześnie, przykłady przedstawiono na rysunkach 5 i 7.

Wyniki dla wszystkich przeprowadzonych prób zamieszczono w tabeli 1. Dla obu wariantów próbek otrzymano wysoką powtarzalność wyników. W przypadku próbek wariantu pierwszego, średnia wartość σ_M wyniosła 7,52 MPa, a odchylenie standardowe 0,08 MPa (z pominięciem próbki P003, dla której otrzymano znacząco różne wyniki). Dla próbek wariantu 2 było to odpowiednio 5,32 MPa i 0,21 MPa. Wartość średnia i odchylenie standardowe dla σ_y wyniosły 5,16 MPa i 0,33 MPa. Średnia wartość σ_M okazała się być większa dla próbek wariantu 1 o 2,20 MPa, co stanowi ok. 41%.

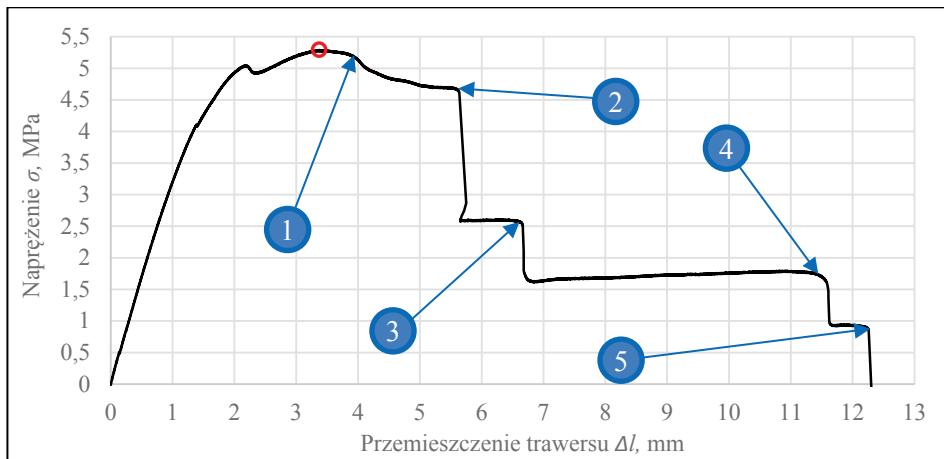
Prawdopodobną przyczyną różnicy w wytrzymałości są różnice w przenoszeniu naprężenia normalnego przez wypełnienie. W przypadku próbek wariantu pierwszego naprężenie to przenoszone jest zarówno przez połączenie między pasmami jak i przez same pasma. Natomiast w przypadku próbek wariantu drugiego naprężenie normalne przenoszą tylko połączenia pomiędzy pasmami wypełnienia.



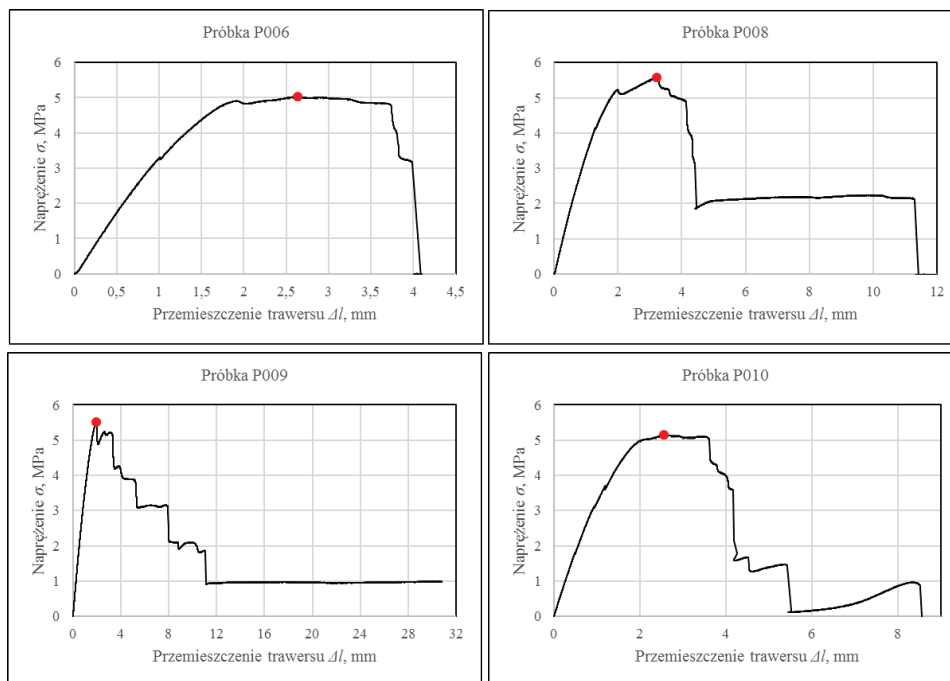
Rys. 4. Wykres próby monotonicznego rozciągania próbki 004 (patrz tab. 1)
Fig. 4. Monotonic tensile test chart for specimen 004 (see tab. 1)



Rys. 5. Wykres próby monotonicznego rozciągania próbek 001-003 i 005 (patrz tab. 1)
Fig. 5. Monotonic tensile test chart for specimen 001-003 and 005 (see tab. 1)



Rys. 6. Wykres próby monotonicznego rozciągania próbki 007 (patrz tab. 1)
Fig. 6. Monotonic tensile test chart for specimen 007 (see tab. 1)



Rys. 7. Wykres próby monotonicznego rozciągania próbki 006 i 008-010 (patrz tab. 1)

Fig. 7. Monotonic tensile test chart for specimen 006 and 008-010 (see tab. 1)

Tabela 1. Wyniki badań

Nr próbki	Kąt nachylenia włókien do osi próbki	Maksymalna siła F_{max} , N	Maksymalne naprężenie σ_M , MPa	Średnia arytmetyczna $\bar{x}$, MPa	Odchylenie standardowe s , MPa
P001	45°	50,65	7,52	7,52	0,08
P002	45°	48,40	7,63		
P003	45°	32,61	5,37		
P004	45°	48,71	7,47		
P005	45°	48,40	7,46		
P006	90°	34,23	5,04	5,32	0,23
P007	90°	36,30	5,29		
P008	90°	36,64	5,59		
P009	90°	39,85	5,52		
P010	90°	35,38	5,15		

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zbadana została wytrzymałość mechaniczna pojedynczej warstwy wydruku trójwymiarowego z PLA o dwóch wariantach ułożenia ekstrudowanych włókien wypełnienia. Próba jednoosiowego rozciągania wykazała, że ukierunkowanie ekstrudowanych włókien pod kątem 45° do osi próbki, przekłada się na wyższą wy-

trzymałość rozciąganego materiału niż w przypadku włókien ułożonych pod kątem 90°. Zaobserwowano, że na obniżenie wytrzymałość warstwy drukowanej wpływa zjawisko powierzchniowego łączenia ukierunkowanych włókien materiału. Ekstrudowane włókna w trakcie procesu drukowania układane są równo obok siebie, pozwalając tym samym na sklejenie, jednakże nie dochodzi do pełnego przetopu materiału poszczególnych włókien. Pod względem zapewnienia oceny wytrzymałości mechanicznej, elementy drukowane należy projektować w taki sposób, aby połączenie między włóknami było możliwie najmniej obciążone.

Na podstawie badań zauważa się, że jednoznaczne określenie właściwości mechanicznych wyrobów drukowanych trójwymiarowo wiąże się z koniecznością przeprowadzenia dodatkowych prób wytrzymałościowych, obejmujących zmienną geometrię próbek, tzn. alternatywne opcje ukierunkowania włókien, a także grubość pojedynczej warstwy wydruku.

LITERATURA

- [1] CHO-PEI Jiang.: Vessel phantom fabrication using rapid prototyping technique for investigating thermal dosage profile in HIFU surgery. *Rapid Prototyping Journal* 16(6), 2010, 417-423.
- [2] DOMINGOS M., CHIELLINI F., GLORIA A., AMBROSIO L., BARTOLO P., CHIELLINI E.: Effect of process parameters on the morphological and mechanical properties of 3D Bioextruded poly(ϵ -caprolactone) scaffolds. *Rapid Prototyping Journal* 18(1), 2012, 56-67.
- [3] IBRAHIM U., IRFAN M.A.: Dynamic crack propagation and arrest in rapid prototyping material. *Rapid Prototyping Journal* 18(2), 2012, 154-160.
- [4] LETCHER T., RANKOUHI B., JAVADPOUR S.: Experimental study of mechanical properties of additively manufactured ABS plastic as a function of layer parameters. *Proceedings of the ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress and Exposition IMECE 2015*, IMECE2015-52634.
- [5] SCHMUTZLER C., ZIMMERMANN A., ZAEH M.F.: Compensating Warpage of 3D Printed Parts Using Free-form Deformation. *Procedia CIRP* 41, 2016, 1017-1022.
- [6] TOPOLINSKI T., CICHANSKI A., MAZURKIEWICZ A., NOWICKI K.: Applying a stepwise load for calculation of the S-N curve for trabecular bone based on the linear hypothesis for fatigue damage accumulation. *Fatigue Failure And Fracture Mechanics* 726, 2012, 39-42.
- [7] TYMRAKA B.M., KREIGERB M., PEARCE J.M.: Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions. *Materials & Design* 58, 2014, 242-246.

TENSILE MONOTONIC STRENGTH DETERMINATION OF 3D PRINTED SINGLE POLYLACTIDE (PLA) LAYER

Summary: 3D printing is one of the fastest developing technologies of prototypes and small-batch products manufacturing technologies. Mechanical properties of 3D printings depends on the type of material used and applied parameters, like layer height and direction of material fibers. In this work, the results of research on the uniaxial monotonic tensile strength of single 3D printed later made of polylactide (PLA), have been presented.

Key words: polylactide, monotonic tensile test, 3D printing

Ewa RACZYŃSKA-MĄKOWSKA

**NAUCZANIE PRZEDMIOTU KSZTAŁTOWANIE
PRZESTRZENI Z WYKORZYSTANIEM PROJEKTOWANIA
PROSPOŁECZNEGO**

Streszczenie: Nauczanie przedmiotu Kształtowanie Przestrzeni w Zakładzie Wzornictwa oparto na autorskiej metodzie, łączącej wiedzę teoretyczną z najnowszymi trendami projektowania prospołecznego na podstawie analizy tożsamości miejsca i prototypowanie. Współpraca wynikająca z porozumienia, jakie zawarł WIM z Urzędem Miasta pozwala na aktywność projektową w realnej przestrzeni z uwzględnieniem zarówno uwarunkowań zewnętrznych, jak i możliwości realizacyjnych poszczególnych składowych projektu.

Słowa kluczowe: Bydgoszcz, Długa, miejsce, tożsamość, prototypowanie

W ramach zajęć w Pracowni Kształtowania Przestrzeni studenci Zakładu Wzornictwa WIM UTP wprowadzani są po raz pierwszy w szeroki zakres wiedzy i działań, zmierzających do analizy wybranych przestrzeni pod kątem jej wieloaspektowego poznania i wykorzystania z pożytkiem dla społeczności lokalnych. W ten sposób uświadamiają sobie znaczenie złożonych powiązań, jakie zachodzą między poszczególnymi wyznacznikami badanych miejsc, uwzględniają opinie bezpośrednich użytkowników, aby wreszcie móc w pełni zaspokoić oczekiwania, projektując nowe formy będące elementami tych przestrzeni.

Istotą metody nauczania jest jej praktyczne zastosowanie na konkretnych, istniejących przykładach, z możliwością prawdziwej realizacji (dzięki potencjałowi, jaki oferują studia inżynierskie), ale i z koniecznością uwzględnienia wszystkich realnych uwarunkowań.

1. TWORZENIE MIEJSCA: NARZĘDZIA DZIAŁANIA

Wyróżniającym aspektem metody nauczania jest zwrócenie uwagi na prospołeczny sposób interpretacji przestrzeni, co w warunkach polskich jest wartością stosunkowo nową, a w ramach prowadzonych zajęć z kształtowania przestrzeni – traktowaną dotąd marginalnie lub pomijaną.

Istotnym zagadnieniem jest docenienie znaczenia, jakie odgrywa czynnik ludzki. Wspólnoty tworzą miejsca. Miejsca te zyskują dzięki nim określoną tożsamość. Projektowanie prospołeczne staje się w warunkach polskich od niedawna normą, podczas gdy w krajach zachodnich ma już swoją wieloletnią tradycję.

Doświadczenia w tworzeniu miejsc, ich badaniu i dostrzeżeniu znaczenia to nowy aspekt w kształtowaniu przestrzeni, z którym zapoznaje się studentów Wzornictwa.

Świadomość roli miejsca, indywidualnego przywiązania do najbliższego otoczenia, identyfikacji i oswojenia go, a następnie wynikająca z tego potrzeba uczestniczenia w jego życiu, nie tylko na poziomie podstawowych zajęć, stanowi ważny nurt badań.

Legendaria już postać dziennikarki i aktywistki amerykańskiej działającej w Nowym Jorku na przełomie lat 50. i 60. XX wieku – Jane Jacobs jako pierwsza zwróciła uwagę na konieczność myślenia o mieście w małej skali i na znaczenie niewielkich wspólnot skupionych wokół jednej ulicy, małego osiedla [5].

Kevin Lynch w 1960 pokazał w swej książce, jakie elementy są ważne dla kształtowania wizerunku miasta w świadomości jego użytkowników [6]. Utworzył narzędzie badawcze przestrzeni miasta, tzw. mapy mentalne, dając początek psychologii środowiskowej. Znamienny dla polskiej sytuacji jest fakt opublikowania tłumaczenia tej ważnej pozycji po pięćdziesięciu jeden latach od ukazania się oryginału.

Podobnie było z epokową pracą architekta i matematyka z 1977 Christophera Alexandra „A Pattern Language” [1]. Utworzył on system modeli, dających możliwość łączenia ich, nakładania większych na mniejsze, w celu znalezienia, dobrania optymalnych sytuacji przestrzennych, poczynając od skali regionalnej, po detal architektoniczny.

Duński architekt i urbanista Jan Gehl w książce „Życie między budynkami” [4] zwrócił uwagę na zależność pomiędzy dobrą jakością przestrzeni miejskiej a powstawaniem opcjonalnych aktywności. Autor rozróżnił trzy rodzaje pozadomowej aktywności: działania konieczne, opcjonalne i społeczne. Świadomość kształtowania przestrzeni publicznych w oparciu o poszukiwanie przyjaznych jej użytkownikom warunków stanowi założenie badawcze autora. Zwraca on uwagę zarówno na działania planistyczne, a więc w dużej skali – skierowane w stronę zatrzymania, zainteresowania użytkowników przestrzeni, jak i tak szczegółowe, jak oddziaływanie zapachu, dźwięku, a nade wszystko widzenie.

Bardzo ważnym głosem w dyskusji jest wkład, jaki wniósł w badania nad zagadnieniem tworzenia miejsca William H. White [13]. W 1969 roku wykonał szereg poklatkowych nagrań w wybranych przestrzeniach miejskich, obserwując zachowania ich użytkowników. Zwrócił on między innymi uwagę na fakt, że mniejsze, biedniejsze dzielnice miasta mają bardziej do-społeczny charakter niż niejedna „piękna” przestrzeń zaprogramowana odgórnie. Zajął się oddolnym kształtowaniem przestrzeni miejskiej (DIY). Stał się prekursorem prototypowania, czyli stosowania tanich, eksperymentalnych rozwiązań dla sprawdzenia, jak będzie funkcjonowało dane miejsce np. z zastosowaniem wybranych elementów małej architektury. Badania White’a wskazują na korzyści, wynikające z zastosowania tańszych materiałów i dawania sobie przyzwolenia na popełnianie błędów niż przyjmowanie gotowych projektów za docelowe. Interpretują więc po-

jęcie tworzenia miejsca jako proces dynamiczny, podlegający korektom i jakby nigdy nieskończony, nawarstwiający się w upływie czasu.

Doświadczenia White'a dały początek działalności think tank Project for Public Spaces. Misją tej organizacji non profit założonej przez Freda Kenta w Nowym Jorku w 1975 roku jest tworzenie i zachowanie przestrzeni publicznych, które budują *lokalność*.

Organizacja pracuje nad programami dotyczącymi transportu, parków, rynków i placów, targów i bazarów, ulic, instytucji obywatelskich i budynków użytku publicznego. Zespół PPS pracował w ponad 1200 ośrodkach – zarówno w USA, jak za granicą, aby pomóc w podnoszeniu wartości przestrzeni publicznych do rangi miejsc aktywizujących lokalne społeczności – z programami, funkcjami i przyjaznym dla ludzi enturażem, które razem wydobywają miejscowe wartości, ożywiają klimat miejsca, jego gospodarczą aktywność i zaspokajają wspólnotowe potrzeby. Doświadczenia PPS zostały zebrane w publikacji *Jak stworzyć miejsce? Podręcznik kreowania udanych przestrzeni publicznych*. [6] Aktywiści z PPS prezentują tam cechy udanej przestrzeni: dostępność, funkcjonalność, komfort i wartość społeczną – ich złożoność, metody badań oparte na obserwacji i wywiadach, wreszcie prezentują konkretne przypadki działań.

Wobec coraz większej tranzytowości przestrzeni trzeba zająć się kształtowaniem miejsc. Ich rola w budowaniu relacji i aktywności społecznej jest zasadnicza: prof. Maria Lewicka w rozmowie w piśmie Rzut stwierdza „Z moich badań wynika, że osoby, które są przywiązane do miejsca, mają bogatszą siatkę kontaktów społecznych, silniejszy kapitał społeczny, są bardziej zadowolone z życia, mniej wyalienowane, mają lepszy kapitał kulturowy i zaufanie do ludzi. Nie wiadomo, co jest przyczyną, a co skutkiem – czy to przywiązanie sprzyja lepszemu samopoczuciu, czy osoby dobrze przystosowane są też częściej przywiązane do miejsca. Na pewno jest to element ogólniejszego syndromu dobrego funkcjonowania. Wygląda na to, że związek emocjonalny z przestrzenią jest nam jednak potrzebny” [8].

Ciekawym głosem w historii badań nad znaczeniem i tworzeniem miejsca jest sugestia stosowania metody tzw. charette opisanej przez Josepha Rykwerta [12]. Nazwa wzięta z francuskiego słowa określającego wózek do zbierania prac z rozproszonych atelier w paryskiej Ecole des Beaux Arts określa burzę mózgów, konieczność zbierania rozproszonych opinii mieszkańców, stanowisk architektów, finansistów i budowania na ich podstawie projektu poddawanego ciągłym modyfikacjom. Metoda ta łączy poniekąd doświadczenia PPS z planowaniem „z urzędu”. Znaczenie takiego podejścia nadal nie jest w pełni doceniane, zwłaszcza w Polsce, gdzie autentyczna potrzeba łączenia konsultacji społecznych z działaniem urzędników jest jeszcze niewystarczająca, traktowana bardziej jako zło konieczne niż faktyczna wartość. Wynika to w dużej mierze z naszej historii. Upłynęło jeszcze za mało czasu, aby ugruntowały się kluczowe formacje demokratyczne niezbędne do tworzenia dobrych, przyjaznych miejsc. Stale jesteśmy tu na początku drogi.

Idea swojskości tak wnikliwie przedstawiona w książce Krystyny Pawłowskiej stanowi o unikalności miejsc. Świadomość powstawania więzów stanowi nieodzowny element procesu pokrywania, nie tylko miasta, patyną związków międzyludzkich, narastania lokalnej tożsamości i potrzeby udoskonalania, kreacji swego otoczenia [11]. Wartość ta nie wymaga upływu czasu, jest silnie zakorzeniona w naszej rzeczywistości. Należy dostrzegać jej znaczenie i w umiejętny sposób wykorzystywać.

2. ULICA DŁUGA W BYDGOSZCZY – PRAKTYKA DYDAKTYCZNA

Metodę projektowania prospołecznego poprzedzoną gruntownym zbadaniem przypadku wraz z analizą technicznych możliwości realizacji poszczególnych elementów zastosowano w praktyce dla ulicy Długiej i obszarów przyległych.

Długa, to główny historyczny trakt Starego Miasta, pierwotnie ograniczony bramami miejskimi – Kujawską i Poznańską, z zachowaną XVIII i XIX-wieczną zabudową z wcześniejszymi relikami. Aktywność społeczna w obrębie tej przestrzeni koncentruje się wokół dwóch podmiotów: Bydgoskiej Lokalnej Organizacji *BYLOT* i Stowarzyszenia *Bydgoska Starówka*.

Ulica boryka się z problemem obumierania na skutek likwidacji sklepów, licznych pustostanów i braku zainteresowania mieszkańców. Nie pomagają remonty poszczególnych kamienic, wymiana nawierzchni na wygodniejszą w użytkowaniu, wprowadzanie elementów uatrakcyjnających tę przestrzeń, urządzenie Alei Autografów, postawienie starego tramwaju, a ostatnio idea zadaszenia fragmentu ulicy – te wszystkie działania na niewiele się zdają, mimo potencjalnie idealnych warunków do odniesienia rewitalizacyjnego sukcesu. Działające obok siebie Stowarzyszenia, które inicjują różnego rodzaju imprezy mające ożywić to miejsce – napotykać na obojętność ze strony mieszkańców, gości, ale i same między sobą nie potrafią wygenerować wspólnej twórczej energii. Program kulturalny, jaki proponują te podmioty jest okazjonalny i w niewielkim stopniu bezpośrednio angażuje użytkowników przestrzeni. Jest powtarzalny. Brakuje w nim świeżości, elementu zaskoczenia. Wydaje się, że nie do końca organizatorzy zdołali zdefiniować podmioty, do których kierują swoją ofertę. Chcąc za wiele, tracą równie dużo. Mimo niewielkiej przestrzeni, atrakcyjnej z punktu widzenia lokalizacji, historii, oferty handlowo-gastronomicznej – brakuje aktywnej wspólnoty.

Gordon Cullen w swych rozważaniach na temat „poczucia miejsca” (*sense of place*) [3] zwraca uwagę na znaczenie wizualnej ekspresji, która wraz ze sprzyjającym klimatem i życiem w przestrzeni tworzą miejsce przyjemnym i wartym tego, aby w nim przebywać. Długa teoretycznie spełnia te warunki miejsca prawie idealnego, a jednak coś jest nie tak. Nie tylko „sense”, ale „spirit”, a może przede wszystkim duch jest tym, co przyciąga zarówno samych aktywistów, jak i „odbiorców”. Często jedni są równocześnie drugimi i to tworzy tożsamość miejsca. Budowanie miasta szczęśliwego poprzez tworzenie przestrzeni przyjaznych, nieustająca świadomość znaczenia kontaktu człowieka

z miejscem w którym przebywa została ciekawie opisana w książce Charlesa Montgomerego [10].

Na podstawie literatury można stwierdzić, że tę wspólnotę trzeba budować ewolucyjnie, wkładając duży wysiłek w inteligentne działania integracyjne. Ważne jest przewidywanie zachowań społecznych, świadomość długofalowych procesów integrujących, wreszcie nieunikniona gentryfikacja, która powinna być procesem kontrolowanym. Przypadek poznańskiej Śródki ilustruje te zagadnienia [2]. Po to, aby grupa mieszkańców w pełni zaistniała i przejęła inicjatywę, jej członkowie muszą tworzyć pozytywne relacje na co dzień. Niechęt do współpracy, a więc niski kapitał społeczny waha się w Polsce pomiędzy 11 i 13 proc., podczas gdy np. w Danii wynosi ponad 70 proc. [7]. Widać więc, że zadanie nie należy do łatwych. Jednym z ważniejszych problemów jest wiek mieszkańców tego obszaru, który może mieć zasadniczy wpływ na powodzenie procesu przemian w obrębie ulicy.

Obecność wspólnoty tworzącej charakter miejsca powinna być widoczna w każdej chwili i demonstrować się zachowaniami sąsiadów, obecnością dzieci, otwartymi sklepami, kioskami. Daje się to zauważyć natychmiast po znalezieniu się w przestrzeni ulicy, a nie wyłącznie podczas organizowanych okazjonalnych imprez.

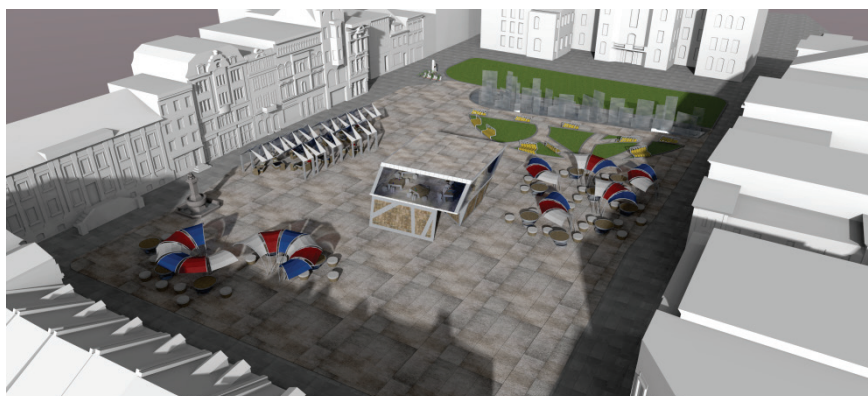
Problem ulicy Długiej przedstawiono studentom Wzornictwa. Projektowanie przestrzeni należy zaczynać od poznania jej specyfiki, jej użytkowników, związków jakie ich łączą. Poczuć ducha miejsca..., poszukać sposobu na odnalezienie go.

Zakład Wzornictwa WiM UTP podpisał z Urzędem Miasta Bydgoszczy w 2014 roku porozumienie o wzajemnej współpracy. Od tej pory studenci mogą także w ramach zajęć z kształtowania przestrzeni realizować konkretne projekty, uwzględniające wskazania urzędu, plastyka miasta i badać określone miejsca pod względem ich potencjału, możliwości przekształceń, aż do projektowania ich konkretnych elementów. Dydaktyka wychodzi więc naprzeciw oczekiwaniom miasta.

Pierwszą próbą połączenia dydaktyki z praktycznym wykorzystaniem opracowań były studenckie koncepcje zagospodarowania płyty Starego Rynku (2015) – podczas realizacji tego zadania pierwszy raz studenci Wzornictwa przystąpili do projektowania na bazie nie tylko klasycznego rozpoznania przestrzeni, jej historii, lecz także próbowano dotrzeć do mieszkańców, użytkowników, zadając im pytania o oczekiwania względem tego miejsca. Świadomość odpowiedzialności za tworzenie miejsca była punktem wyjścia do powstających opracowań. Sukcesem metody było kilka ciekawych projektów, które były prezentowane Prezydentowi Miasta, a ich poziom został oceniony bardzo wysoko. Żaden z mebli miejskich, elementów przestrzennego „wystroju” nie powstał bez wstępnej głębokiej analizy kontekstu, oczekiwań, możliwości realizacyjnych (rys. 1 i 2). Studia na Wydziale Inżynierii Mechanicznej dają możliwość praktycznego zweryfikowania opracowanych koncepcji.



Rys. 1. Bydgoszcz Stary Rynek, autorzy: Kulik, Bożek
Fig. 1. Bydgoszcz Old Market, authors: Kulik, Bożek



Rys. 2. Bydgoszcz Stary Rynek, autorzy: Białobłocki, Dubanasow, Garczyński
Fig. 2. Bydgoszcz Old Market, authors: Białobłocki, Dubanasow, Garczyński

Następnie w ramach zajęć ze studentami wykonano analizę ulicy Długiej (2015/2016) na podstawie badań Jana Gehla prowadzonych na Stroget, głównym traktie pieszym w centrum Kopenhagi [4]. Odnotowano najatrakcyjniejsze miejsca, najciekawsze sklepy i witryny. Oceniono liczbę i układ ławek, zieleni. Obserwowano faktyczny ruch, także kołowy w obrębie traktu pieszego. Przeprowadzono kilka wywiadów sondażowych z mieszkańcami. Analizowano także rozkład funkcji lokali w parterach kamienic, a także ich układ własności. Obserwowano życie ulicy, atrakcje, jakie przyciągają użytkowników przestrzeni, widoczność lokalnej społeczności. Ustalono, że ulica która w pierwszej ocenie spełnia wszystkie warunki, aby stać się miejscem wybieranym chętnie przez jej użytkowników – jest traktem pieszym, ma przyjazną skalę, ciekawą zabudowę,

indywidualne meble miejskie, w jej obrębie znajduje się dużo sklepów, które mogą skupiać uwagę odbiorców, łączy konkretne punkty w topografii miasta – ta ulica zwykle jest pusta.

Zauważono, że ławki ustawiono liniowo w sposób, który powoduje, że siada się na nich tyłem do interesujących elementów ulicy. Wystawy sklepowe są nieciekawe, niektóre wręcz odstraszaające. Szczególnie złe wrażenie robią kamienice przeznaczone do remontu. Liczba ogródków letnich jest niewielka, ze względu na konieczność zachowania możliwości przejezdności. Brakuje „żywych” atrakcji, jak muzycy, malarze itp. Podczas wywiadów skarżono się na wysokie czynsze, opłaty za zajęcie chodnika, wreszcie brak stałej ciekawej oferty kulturalnej.

W ramach działań o charakterze badawczym studenci wypełnili w 2014 roku puste witryny sklepów czekających na nowego najemcę wydrukami designerskich projektów dyplomowych. Miała to być wskazówka (prototypowanie) dla mieszkańców i użytkowników ulicy, że można w inny sposób wykorzystać te miejsca, przekształcając je za chwilę w mobilne galerie, prezentujące chociażby twórczość młodych ludzi, dla których profesjonalne ekspozycje są jeszcze niedostępne. Obserwacja reakcji, z jaką spotkało się to doświadczenie stanowiła kolejny element poznawania badanej przestrzeni (rys. 3 i 4).



Rys. 3, 4. Studencka akcja „oswajania” opuszczonych lokali handlowych przy ulicy Długiej – stan przed „maskowaniem” i po. Niepodjęty przykład „prototypowania”
(materiały własne autorki)

Fig. 3, 4. Student’s action with the empty shops windows, before and after-exemple of prototyping (author’s materials)

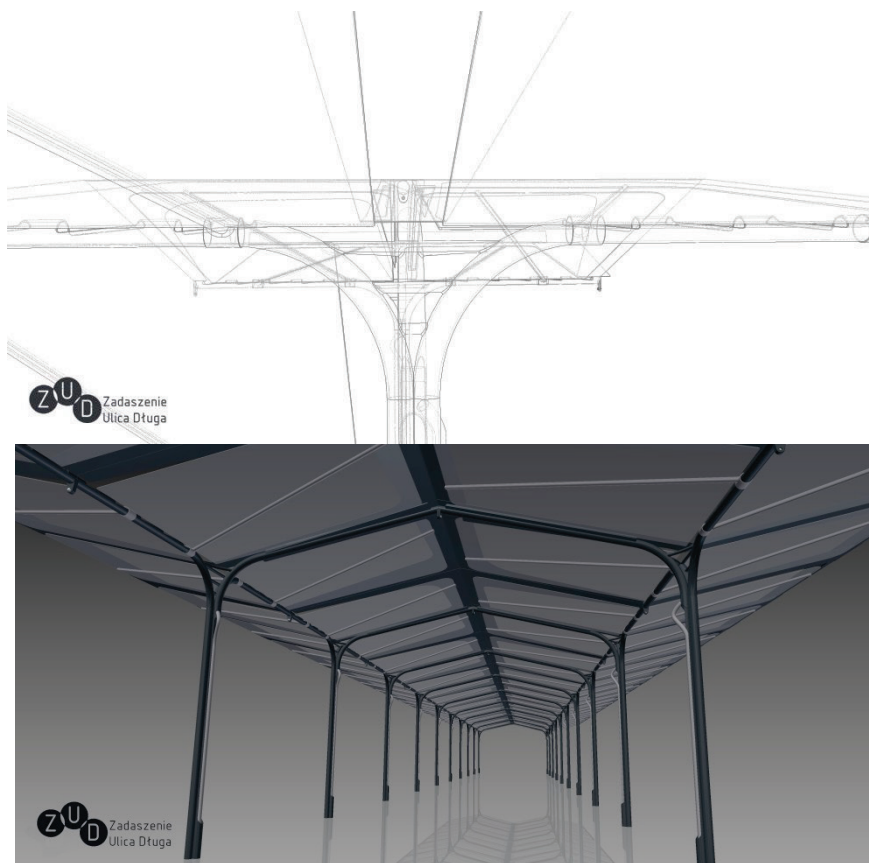
Na prośbę plastyka miasta studenci Wzornictwa w ramach przedmiotu Kształtowanie Przestrzeni utworzyli kilka interpretacji zarówno ulicy Długiej, jak miejsc bezpośrednio z nią związanych. Według ustalonych przez prowadzącego zajęcia zasad powstały wizje Artystycznej Długiej, Zaułka, zejścia na Wyspę Młyńską tzw. Magicznych Schodków. W wielu opracowaniach uwzględniano możliwość dalszych badań i projektów wskazanych elementów projektu na podstawie współpracy w ramach Wydziału Inżynierii Mechanicznej (rys. 5).



Rys. 5. Artystyczna Długa, Autor: Dominika Jabłońska
Fig. 5. Artistic Długa Street, Author: Dominika Jabłońska

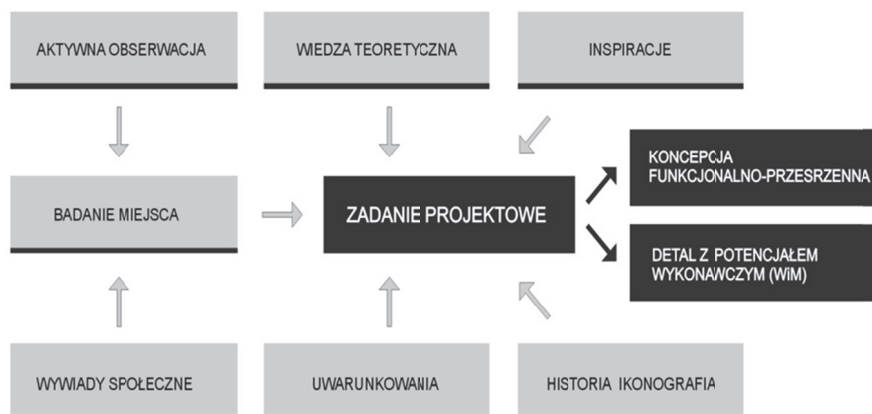
Poznanie warsztatu projektanta przestrzeni, doświadczeń innych krajów w tym zakresie, bogaty serwis ilustracji i znajomość teorii kształtowania miejsca to I etap projektowania. Kolejnym stają się rozmowy, wywiady z użytkownikami opracowywanych miejsc, obserwacja ich przemian, cech charakterystycznych, walorów i potrzeb. Prowadzący zajęcia stara się, aby studenci poczuili emocjonalny związek z opracowywanym miejscem – spędzając tam czas, fotografując je o różnych porach dnia i nocy, poznając mieszkańców. Projektowanie nieobojętne – takiego tworzenia idei oczekuje się od studentów Wzornictwa.

Na prośbę handlowców z Długiej powstały ciekawe studenckie koncepcje zadaszenia ulicy. W tym przypadku konieczność technicznej weryfikacji pomysłu stała się wręcz nieodzowna. W chwili obecnej trwają prace badawcze zmierzające do określenia warunków realizacji takiej inwestycji. Kolejny raz teoretyczna wiedza uzyskiwana na zajęciach przekłada się na praktyczne zastosowanie, co w przypadku studentów Wzornictwa jest szalenie ważnym doświadczeniem (rys. 6 i 7).



Rys. 6, 7. Zadaszenie ulicy Długiej – koncepcja, autor: Sławomir Tomasik
Fig. 6, 7. The roof over Długa street – concept, author: Sławomir Tomasik

Metoda pracy ze studentami polegająca na analizie i autorskiej interpretacji zadanej przestrzeni, uwzględniającej społeczne zapotrzebowanie przy jednoczesnym zbadaniu technicznych możliwości realizacyjnych i wszystkich praktycznych wytycznych dotyczących danego miejsca wydaje się ciekawą i stymulującą metodą nauczania przedmiotu Kształtowanie Przestrzeni. Studenci Wzornictwa przecierają w ten sposób nową ścieżkę, stanowiąc pierwsze ogniwo łańcucha następujących po sobie zdarzeń, w ramach których kolejni studenci Wydziału Inżynierii Mechanicznej będą mogli weryfikować od strony technicznej poczynania swoich kolegów. Studia inżynierskie dają studentom taką możliwość, zwiększając w ten sposób spektrum zdobywanych doświadczeń (rys. 8).



Rys. 8. Schemat pracy nad zadaniem projektowym
Fig. 8. Scheme of the project problem

LITERATURA

- [1] ALEXANDER CH.: Język wzorców. Miasta, 1-467, Budynki, 467-943, Gdańsk, 2008.
- [2] BARDZIŃSKA-BONENBERG T.: Poznańska Śródka – granice fizyczne i mentalne w mieście (maszynopis).
- [3] CULLEN G.: Obraz miasta, wydanie skrócone. Ośrodek „Brama Grodzka – Teatr NN” Lublin, 2011.
- [4] GEHL J.: Life between the buildings. New York, 1987.
- [5] JACOBS J.: The Death and Life of Great American Cities, Random House. New York, 1961.
- [6] Jak stworzyć miejsce? Podręcznik kreowania udanych przestrzeni Publicznych. Project for Public Spaces Inc. Fundacja Partnerstwo Dla Środowiska, Kraków, 2009.
- [7] KOZAK M.: Więcej i lepiej. Miasto10, 2015, 49.
- [8] LEWICKA M.: (Nie)miejsce. Rzut 2, 2013, 49.
- [9] LYNCH K.: Obraz miasta. Kraków, 2011.
- [10] MONTGOMERY CH.: Miasto szczęśliwe. Jak zmienić nasze życie, zmieniając nasze miasto. Wydawnictwo Wysoki Zamek Kraków, 2015, 208-225.
- [11] PAWŁOWSKA K.: Idea swojskości miasta. Politechnika Krakowska, 2001.
- [12] RYKWERT J.: Pokusa miejsca. Przeszłość i przyszłość miast. Międzynarodowe Centrum Kultury Kraków, 2013, 323.
- [13] WHITE W.H. The Social Life of Small Urban Spaces. Nowy Jork, 1980.

TUITION O SPACE SHAPING WITH AN USE OF PROOCIAL DESIGNING

Summary: Tuition of Space Shaping in the Design Department was based on the original method, combining theoretical knowledge with the newest trends in pro-social design, basing on the place's identity analysis and prototyping. Cooperation that is result of an agreement of the Mechanical Engineering Faculty and the Town Hall allows for design activity in a real space, including outside conditions as well as execution capabilities of each components of the project.

Key words: Bydgoszcz city, Długa street, identity, place making

Monika RAK

TKANINA JAKO POLE DZIAŁAŃ NA STYKU SZTUKI I PROJEKTOWANIA

Streszczenie: Tkanina stała się ostatnio niezwykle nośnym obszarem ludzkiej kreacji, znajdującym się na styku sztuki i projektowania. Zakres działań w jej obrębie jest niezwykle obszerny, przez co jest medium pojemnym i intrygującym. Po długich latach artystycznego niebytu tkanina powróciła jako kategoria sztuki i design w zupełnie nowej odsłonie. Pozwoliło mi to wytyczyć własną ścieżkę zarówno w zakresie kreacji artystycznej, jak i w obrębie edukacji z zakresu tekstyliów, prowadzonej na studiach wzorniczych. Moja twórczość bazuje na szeroko rozumianym rysunku eksperymentalnym eksplorującym wątki tekstyliów i tkaniny w najróżniejszych formach. W szczególności zajmuję się haftem i rysunkiem szytym, technikami które dostarczają całe bogactwo rozwiązań linearnych. Stało się to punktem wyjścia do traktowania obszaru tekstyliów jako pola działania na styku sztuki i projektowania.

Słowa kluczowe: tkanina, tekstylia, sztuka, projektowanie

Tkanina na przestrzeni ostatnich lat stała się niezwykle istotnym elementem, znajdującym się gdzieś na styku sztuki i projektowania. To bycie tkaniny pomiędzy tymi kategoriami wynika z pewnością z trudności, jakie pojawiają się przy jej systematyzowaniu oraz faktu, że może być utożsamiana z materiałem, tworzywem, a dalej z techniką czy technologią. Na gruncie sztuki przez długi okres czasu była identyfikowana z tkaniną unikatową, rękodziełem, natomiast we wzornictwie traktowana jako materiał, dając określone możliwości techniczne i funkcjonalne. Dopiero od niedawna zaczęto dostrzegać ogromny potencjał kryjący się w tym niezwyklej medium, czego przykładem mogą być: spektakularne instalacje realizowane z tkaniny czy włókna m.in. przez Do Ho Suh [7], Gabriela Dawe [10] oraz Chiharu Shiota [9], działania Lidewij Edelkoort silnie propagujące współczesny design i tekstylia, tj. wystawa w Design Museum Holon *Gathering. From Domestic Craft to Contemporary Process* [3] oraz kolejne edycje konkursu *Talking textile* [13], cykliczne wystawy i przeglądy artystyczne m.in. *Contextile – Contemporary Textile Art Biennial* [8], *Textile Art of Today*, a także *Triennial of Textile Without borders* [12], *Miniartextil* [11] oraz wiele innych przedsięwzięć.

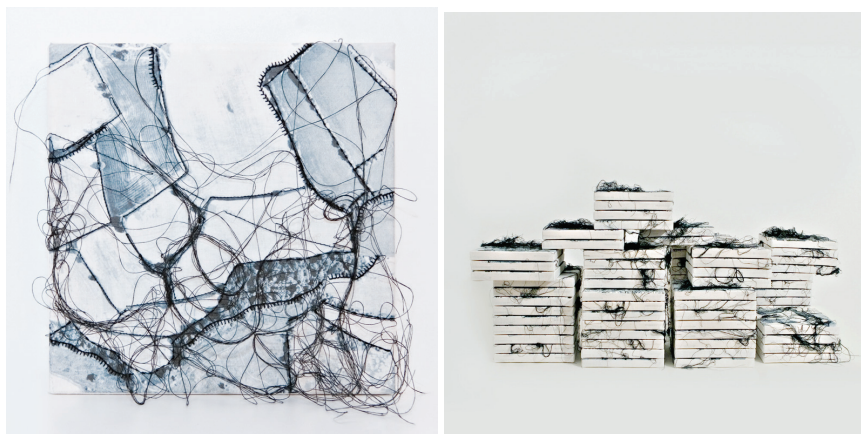
Warto zwrócić uwagę na fakt, że zakres kreacji w obrębie tkaniny jest bardzo obszerny, przez co stała się medium niezwykle aktualnym i intrygującym. Z jednej strony wpisują się w nią wszystkie te zjawiska związane z rękodziełem

tekstylnym, jak również i działania eksperymentatorskie z pogranicza, gdzie właściwie ślad po tkaninie jest mocno rozmyty, a nawet trudny do uchwycenia.

Traktowanie tkaniny jako pola działań na styku różnych dziedzin pozwoliło wytyczyć mi ścieżkę zarówno w zakresie własnej kreacji artystycznej, jak i w obrębie edukacji z zakresu tekstyliów, prowadzonej na studiach wzorniczych na Wydziale Inżynierii Mechanicznej UTP w Bydgoszczy, gdzie jestem adiunktem oraz warsztatach czy innych projektach dydaktycznych, w których biorę udział.

Przedmiotem realizowanych przeze mnie działań artystycznych jest badanie różnych aspektów rzeczywistości za pomocą notacji rysunkowych wykonywanych niemi. Moja twórczość bazuje na szeroko rozumianym rysunku eksperymentalnym połączonym z tkaniną. Zajmuję się różnorodnymi projektami, w których kluczową rolę odgrywa forma plastyczna skupiona wokół zapisów o charakterze rysunkowym skonfrontowana z tkaninowymi środkami wyrazu. Są to *Konstrukty rysunkowe*, w których analizuję otaczającą mnie rzeczywistość pod względem jej linearności, gdzie jako medium posługuję się włóknem i tkaniną. Doszukując się linearnych śladów w najbliższym otoczeniu, tworzę realizacje, które właściwie aktualizują się w momencie spotkania z odbiorcą. Są to próby opisu świata i rzeczywistości bliskiej człowiekowi bazujące na miękkiej materii. Stąd w realizowanych przeze mnie projektach stało się zasadne zgłębianie tematów związanych z rękodziełem tekstylnym, tkaniną unikatową i projektowaniem tkaniny. Na przestrzeni lat, uczestnicząc w różnych działaniach artystycznych czy wystawach, zrodziła się we mnie potrzeba poszukiwań właśnie na tym gruncie.

Do ulubionych przeze mnie technik należą haft i rysunek szyty, które dostarczają mi całe bogactwo rozwiązań linearnych. Obok realizacji na płaszczyźnie tworzę obiekty czy projekty w przestrzeni za pośrednictwem, których próbuję zbadać pewne aspekty rzeczywistości oraz dyskretnie pobudzić odbiorcę do refleksji i intelektualnego udziału w odbiorze. Z takim też zamysłem powstała *Przestrzeń kontemplacyjna*, która jest otwartym zbiorem map nieistniejących miejsc, prezentowanych w formie miniaturowych tkaninowych obiektów, którymi sukcesywnie wypełniam przestrzenie galerijne wytyczając w nich strefę kontemplacyjną (rys. 1, 2). W tym przypadku maszyna do szycia wykorzystana jest jako narzędzie notacyjne, za pomocą którego wyrysowuję linie przeszywające je zarazem czarną nicią. Taki szkicowe działanie mechanicznym narzędziem pozwala mi w szybki sposób zapisać rysunkowe ślady w postaci różnorodnych ściegów, którym towarzyszą długie nici, swobodnie oplatające obiekty.



Rys. 1, 2. Przestrzeń kontemplacyjna, rysunek szyty, druk na tkaninie bawełnianej
Fig. 1, 2. Contemplative space, sewn drawing, print on fabric

Na innej zasadzie działam w cyklu *Plantacja*, gdzie czerwoną nicią „wrysowuję” jednocześnie analizując kształty płatków róż różnego gatunku, a następnie ręcznie wyhaftowuję wybrane zarysy. Jest to swoiste rosarium zapisane na kilkunastu białych, tkaninowych tablicach, gdzie poza kwadratowe płaszczyzny wylaniają się intensywnego koloru nici sugerujące, że poza obrazem jest coś więcej (rys. 3).

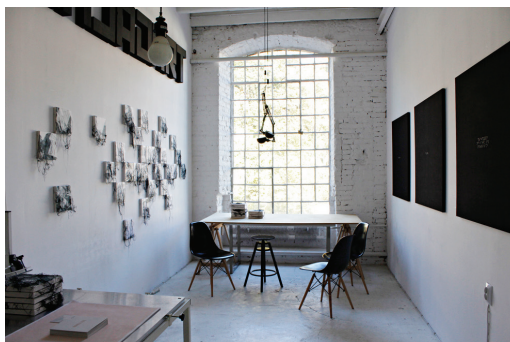


Rys. 3. Plantacja, rysunek szyty, haft, tkanina bawełniana
Fig. 3. Plantation, sewn drawing, embroidery, fabric

Kolejnym przykładem takich tkaninowych realizacji, jest seria wielkoformatowych obiektów dotykowych haftowanych Braillem *Dziewczynki nie bawią się pistoletami*, gdzie na czarnych płóciennych tablicach znajdują się wyhaftowane różnego rodzaju napisy wyłuskane z przestrzeni miejskiej. Jest to próba przełożenia kodu otaczającej mnie przestrzeni na język ciszy zapisany w formie haftowanych punktów (rys. 4 i 5).



Rys. 4. Dziewczynki nie bawią się
pistoletami, haft, tkanina bawełniana
Fig. 4. The girls don't play with the guns,
embroidery, fabric



Rys. 5. Wystawa indywidualna Rysunek szyty i haft,
Shlagart Off Piotrkowska, Łódź design Festival 2015
Fig. 5. Individual exhibition Sewing draw
and embroidery, Shlagart Off Piotrkowska,
Łódź design Festival 2015

W ten oto sposób tkanina stała się dla mnie medium, którym posługuję się na gruncie rysunku, mogąc się w ten sposób wypowiadać na wiele sposobów, nieustannie odkrywając nowe jej obszary i przestrzenie do artystycznej penetracji, łącząc artystyczną kreację z elementami wiedzy z zakresu projektowania tkaniny.

Takie szerokie myślenie o rysunku i tkaninie stało się też bazą do realizacji zagadnień edukacyjnych, które podejmuję w ramach prowadzonych przeze mnie przedmiotów, tj. rysunek specjalistyczny i techniczne aspekty modelowania tkaniny w Zakładzie Wzornictwa UTP w Bydgoszczy. Tutaj, mając kontakt z młodymi adeptami wzornictwa, stało się zasadne zarówno kształcenie z zakresu podstawowych jakości wizualnych i języka formalnego, jak również łączenie tej wiedzy z umiejętnościami stricte manualnymi z zakresu manipulacji tkaniną i podstaw jej projektowania. Kontakt z miękką, a zarazem trwałą materią jest kluczowy, bo tekstylia wpisują się zarówno w projektowanie ubrań, mebli i wyposażenia wnętrz, jak i przestrzeni bliskich człowiekowi. Właściwie wszędzie tam, gdzie bytuje człowiek, pojawia się też pole do działania z tkaniną i tekstyliami oraz potrzeba ich dostosowania do aktualnych potrzeb. Znane od zarania wieków metody wyplatania materiałów z różnych włókien po dziś dzień znajdują zastosowanie, jednak powstają już na nowych zasadach, ze współczesnych nam materiałów, czyniąc otaczającą nas rzeczywistość bardziej przyjazną [2]. Ta aktualność tkaniny czyni z niej bardzo uniwersalną materię i jednocześnie atrakcyjny środek wyrazu, w którym zakodowane jest oddziaływanie na ludzkie zmysły.

Warto zaznaczyć, że edukacja w zakresie tkaniny w ramach pracowni Technicznych Aspektów Modelowania traktowana jest tu jako dopełnienie warsztatu z modelowania w drewnie oraz metalu na 2 i 3 roku studiów I stopnia na kierunku Wzornictwo (nie stanowi odrębnej specjalizacji). Prowadzona na studiach projektowych właśnie w taki sposób w mojej ocenie wymaga możliwie szerokiego i całościowego spojrzenia na obszar znajdujący się pomiędzy pro-

jektowaniem a sztuką. Okazuje się, że istotne są tu zarówno zagadnienia z zakresu projektowania wzorów, technicznych możliwości manipulacji tkaniny, podstaw materiałoznawstwa i technologii produkcji oraz tkaninowych tendencji, jak również języka formalnego, a także aktualności z zakresu sztuki. Takie kompletne traktowanie pozwala lepiej zrozumieć tkaninowe konteksty i uchwycić dynamikę zmian na tym polu. Dlatego niezwykle istotne wydają się być prowadzenie zajęć zarówno w formie wykładów i prezentacji, gdzie podejmowane są zagadnienia z obszaru sztuk dotyczące jakości wizualnych i kształtowania formy plastycznej, oraz zajęć praktycznych, gdzie student pracuje z konkretną materiałą, co okazuje się być kluczowe (rys. 6 i 7).



Rys. 6. Projekt Puf tekstylny zrealizowany w pracowni Technicznych Aspektów Modelowania, projekt studencki, autor: Anna Cichosz, Joanna Borońska, Paweł Dolny

Fig. 6. Project Textile pouf, students project, author: Anna Cichosz, Joanna Borońska, Paweł Dolny



Rys. 7. Zadanie Manipulacje tekstylne – Smocking zrealizowany w pracowni Technicznych Aspektów Modelowania, praca studencka, autor: Eliza Sikora

Fig. 7. The manipulation of the textile – Smocking, student work, author: Eliza Sikora

W takiej formie kształcenia istotna jest nauka projektowania wzorów stanowiąca bazę projektowania tkanin, gdzie na podstawie multiplikacji studenci równolegle poznają zasady druku na różnych materiałach i jego rodzaje, a także zagadnienia formalne dotyczące operowania skalą, rytmem i iluzją przestrzeni. Następnym ważnym zagadnieniem okazują się być manipulacje tekstylne i wykorzystanie całego potencjału tkwiącego w formowaniu materiału m.in. poprzez składanie, warstwowanie, plisowanie, pikowanie i inne, często eksperymentalne metody. W ramach Technicznych Aspektów Modelowania Tkaniny powstają też tekstylne obiekty. Miękka materia bardzo często stanowi konstrukcję, jak i zewnętrzne poszycie, gdzie eksponowane są estetyczne i funkcjonalne jej walory. Dzięki praktycznej metodzie pracy, gdzie student od projektowania wzoru przechodzi do próbek materiałowych i dalej realizacji pełnowymiarowe-

go prototypu obiektu, jest szansa na eksperymentowanie z tekstyliami i doświadczenie na czym polega praca z realnym tworzywem. Daje to możliwość przeniesienia zdobytych umiejętności na inne materiały, niebędące tkaniną oraz wykorzystanie wiedzy i doświadczeń przy realizacji dalszych projektów.

Spojrzenie na tkaninę jako na pole działań na styku sztuki i projektowania stanowi subiektywną propozycję rozważania wątków tekstylnych. W mojej ocenie jest to perspektywa, która uwypukla dynamikę zjawisk tekstylnych i traktuje je możliwie pełnie, choć z pewnością nie całościowo. Pokazuje tkwiący w niej ogromny potencjał twórczy. Możliwości kreacyjne, jakie daje aktualnie tkanina wskazują, że oprócz tego, że jest to tkana materia, która kształtowana w określony sposób nabiera formy, jest ona również medium, językiem o niezmierzonoj pojemności i otwartości na artystyczno-projektowe eksperymenty.

LITERATURA

- [1] CLARKE S.: Textile design. Laurence King, 2011.
- [2] CLARKE S.: Print: Fashion, Interiors, Art. Laurence King, 2014.
- [3] EDELKOORT L., FIMMANO Ph.: Gathering. From Domestic Craft to Contemporary Process, Exhibition catalogue, Design Museum Holon, 2014.
- [4] JACKSON P.: Complete Pleats: Pleating Techniques for Fashion, Architecture and Design. Laurence King, 2015.
- [5] QUINN B.: Textile designers. At the cutting edge, Laurence King, 2009.
- [6] QUINN B.: Textile visionaries. Innovation and sustainability in textile design, Laurence King, 2013.
- [7] <http://www.contemporaryartscenter.org/exhibitions/2016/02/do-ho-suh>, stan na 18.10.2016.
- [8] <http://contextile.pt/2016/en/>, stan na 19.10.2016.
- [9] <http://www.chiharu-shiota.com/en/>, stan na 18.10.2016.
- [10] <http://www.gabrieldawe.com/>, stan na 18.10.2016.
- [11] <http://www.miniartextil.it/>, stan na 19.10.2016.
- [12] <http://www.textileartoftoday.com/index.php/en>, stan na 19.10.2016.
- [13] <http://www.trendtable.com/4155-talking-textiles/>, stan na 18.10.2016.

FABRIC AS ROOM FOR ACTION AT THE INTERFACE BETWEEN ART AND DESIGN

Summary: Fabric has recently been an unusually expressive area of human creation, being at the interface between art and design. The range of activities within this is so extensive that it has become extremely capacious and intriguing medium. After many years of artistic non-existence, fabric has returned as a category of art and design in completely new context. It allowed me to find my own way, both in scope of artistic creation and education within the field of textiles, conducted on design studies. In my artistic creation I rely on the broadly understood experimental drawing and explore the issue of textile and fabric in a variety of situations and forms. My favorite techniques are manual embroidery combined with sewn drawing. These techniques provide me a variety of linear solutions in my art work. For this reason I start to treat textile area as room for action at the interface between art and design.

Key words: fabric, textile, art, design

Lista recenzentów prac opublikowanych w numerach 7(4)2016 oraz 8(4)2016
Reviewers list publication published in issues 7(4)2016 and 8(4)2016

prof. dr hab. inż. Andrzej Bochat	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. Anna Bochenek	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr inż. Piotr Domanowski	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. inż. Piotr Doroszewski, prof. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
prof. dr hab. inż. Józef Flizikowski	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. inż. Szymon Grymek	Politechnika Gdańska
dr hab. Sławomir Juściński	Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
dr hab. inż. Bogdan Ligaj, prof. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
prof. dr hab. inż. Tadeusz Łagoda	Politechnika Opolska
dr hab. inż. Marek Macko	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
dr hab. inż. Janusz Musiał	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. inż. Łukasz Muślewski, prof. nadzw. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. inż. Adam Niesłony, prof. PO	Politechnika Opolska
dr inż. Krzysztof Nowicki	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr inż. Dariusz Mikołajewski	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego
doc. ing. Jana Ivanič Porhajašová, PhD	Slovak University of Agriculture in Nitra
dr hab. inż. Norbert Radek	Politechnika Świętokrzyska
dr hab. inż. Jerzy Sawicki, prof. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. inż. Dariusz Skibicki, prof. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. inż. Lech Starczewski, prof. WITPiS	Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej
dr hab. inż. Dariusz Sykutera, prof. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
dr hab. Maciej Światała, prof. UTP	Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
prof. dr hab. inż. Marian Żenkiewicz	Uniwersytet Kazimierza Wielkiego